

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA – *CAMPUS* PROFESSOR
FRANCISCO GONÇALVES QUILES
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção

Paula Duarte Silva Miotti

**A VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO E O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS NA
AGROINDÚSTRIA DE CACOAL/RO**

Cacoal/RO
2016

Paula Duarte Silva Miotti

**A VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO E O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS NA
AGROINDÚSTRIA DE CACOAL/RO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Rondônia - Unir, como requisito avaliativo da disciplina Monografia II, ministrada pelo professor Me. Juander Antônio de Oliveira Souza para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Juander Antônio de Oliveira Souza

Cacoal/RO
2016

MIOTTI, Paula Duarte Silva.
M669v A valorização do resíduo e o aproveitamento do biogás na agroindústria de Cacoal/RO / Paula Duarte Silva Miotti – Cacoal/RO: UNIR, 2016.
99 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação).
Universidade Federal de Rondônia – Campus de Cacoal.
Orientador: Prof. M.e Juander Antônio de Oliveira Souza .

1. Agroindústria. 2. Biogás. 3. Biodigestor. I. Souza, Juander Antônio de Oliveira . II. Universidade Federal de Rondônia – UNIR. III. Título.

CDU – 662.767.2

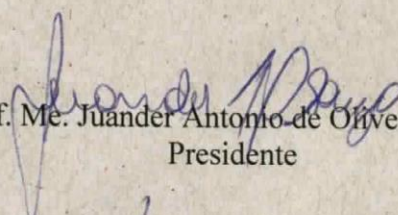
Catálogo na publicação: Naiara Raissa Passos – CRB11/891

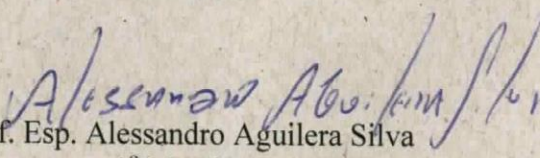
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Campus Professor Francisco Gonçalves Quiles
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção

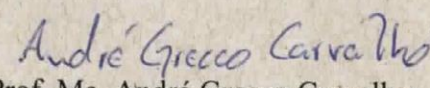
ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 22 (vinte e dois) dias do mês de junho de dois mil e dezesseis, reuniu-se na sala 01 do bloco P do curso de Engenharia de Produção da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR, a banca constituída pelos professores: Prof. Me. Juander Antonio de Oliveira Souza (Presidente), Prof. Esp. Alessandro Aguilera Silva (1º Membro) e Prof. Me. André Grecco Carvalho (2º Membro), às 15:00h (quinze horas) para examinar o TCC da acadêmico(a) Paula Duarte Silva Miotti, na prova de defesa da sua monografia de conclusão de curso intitulada: A VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO E O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS NA AGROINDÚSTRIA DE CACOAL/RO. O presidente da comissão iniciou os trabalhos às 15:18, solicitando a acadêmica que apresente os principais aspectos do seu trabalho. Concluída a exposição, os avaliadores arguíram alternadamente o candidato sobre os diversos aspectos do trabalho. Após a arguição, a comissão reuniu-se para avaliar o desempenho do acadêmico, que obteve a nota final 28 (vinte e oito). A ata segue assinada pelos membros da banca.

Cacoal, RO, 22 de junho de 2016


Prof. Me. Juander Antonio de Oliveira Souza
Presidente


Prof. Esp. Alessandro Aguilera Silva
1º Membro


Prof. Me. André Grecco Carvalho
2º Membro

Aos meus pais, minha base e raiz, pelo apoio e confiança dedicados a mim. E ao meu marido Alan Antônio Miotti que sem seu amor, dedicação, paciência e companheirismo eu não teria conseguido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que iluminou o meu caminho e permitiu que eu seguisse com saúde e força superando sempre as dificuldades.

Aos meus pais, Zurma e Ivair, pela capacidade de acreditar e investir em mim, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, que não mediram esforços para que eu conseguisse atingir meus objetivos.

Aos meus irmãos, Bruna e Douglas e todos os meus familiares, Irineu, Mara, Aline e Adriano, pelo incentivo, fazendo-me acreditar que “eu poderia” e compartilharem da minha caminhada.

Meus agradecimentos por terem aceito se privar de minha companhia pelos estudos, concedendo a mim a oportunidade de concretizar mais uma etapa.

Agradeço a todos os professores por me proporcionarem o conhecimento, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

Aos meus amigos, pela companhia constante, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas, que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Em especial ao meu marido, Alan Antônio Miotti, que representa minha segurança em todos os aspectos, meu companheiro incondicional, que vivenciou comigo todos os momentos difíceis dessa jornada, me dando forças para continuar, me respeitando, aceitando e compreendendo minhas ausências e omissões.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Obrigada!

RESUMO

A necessidade do uso de fontes alternativas de energia passa a ter um crescimento exponencial em todo o mundo. O aproveitamento da biomassa residual oriunda das atividades agrícolas e pecuárias se destaca devido a grande quantidade de resíduos descartados diariamente nas propriedades, estes com alto potencial para geração de biogás. Assim, o uso de biodigestores, para o aproveitamento da biomassa, torna-se uma excelente fonte de geração de energia, que a partir do processo de biodigestão anaeróbia da matéria orgânica, produz em sua composição final uma quantidade significativa de gás metano, com alto poder calorífico, passível de ser utilizado como fonte geradora de energia e um conteúdo residual, o biofertilizante, agregando valor e reduzindo os custos nas propriedades. O objetivo geral desse trabalho é verificar os motivos da não utilização dessa tecnologia biodigestora nas agroindústrias de Cacoal/RO, assim como apresentar os benefícios econômicos obtidos pelo seu uso por meio de uma pesquisa de campo. Esta pesquisa é classificada quanto aos objetivos como descritiva, como também exploratória, com abordagem qualitativa e quantitativa, de natureza básica e o método a ser utilizado será o dedutivo. Para coleta de dados foi realizado inicialmente um levantamento bibliográfico em livros, artigos e outros, seguido da elaboração de um questionário com 11 perguntas aplicado a 60% das agroindústrias do município, como também uma pesquisa de campo com consecutiva entrevista feita aos proprietários de uma agroindústria de queijos. Em relação aos aspectos éticos, os pesquisados foram devidamente consultados e informados sobre o presente trabalho de pesquisa e ainda preservados suas identidades. Sendo assim, esse trabalho revelou a partir dos questionários a ausência de políticas públicas e incentivo pertinente ao assunto, e quanto ao estudo de caso os resultados se mostraram satisfatórios quanto a redução dos custos e incremento da receita na agroindústria.

Palavras-chave: Agroindústria, Biogás, Biodigestor.

ABSTRACT

The need for the use of alternative energy sources is replaced by an exponential growth worldwide. The use of residual biomass derived from agricultural and livestock activities stands out due to the large amount of waste discarded daily in the properties, these high potential for biogas generation. Thus, the use of digesters, to use the biomass, an excellent source of energy generation becomes that from the anaerobic digestion process of organic matter, produces a final composition a significant amount of methane gas with high calorific power, which can be used as a source of energy and a residual content, biofertilizers, adding value and reducing costs in the properties. The aim of this study is to verify the reasons for not using this technology in biodigestora agribusinesses Cacoal / RO, as well as present the economic benefits obtained by its use through field research. This research is classified as descriptive as the objectives, as well as exploratory, with qualitative and quantitative approach basic to nature and the method to be used is deductive. For data collection was initially carried out a literature in books, articles and others, followed by the preparation of a questionnaire with 11 questions applied to 60% of the agricultural industries of the municipality, as well as a field research with consecutive interview the owners of an agribusiness cheeses. Regarding the ethical aspects, respondents were properly consulted and informed of this research work and still preserved their identities. Thus, this work revealed from the questionnaires the absence of public policies and appropriate incentives to the subject, and as the case study results were satisfactory as to reduce costs and increase revenue in agribusiness.

Keywords: Agribusiness, Biogas, Biodigestor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista frontal em corte do biodigestor tipo Indiano	25
Figura 2 - Representação tridimensional em corte do biodigestor tipo Indiano.....	26
Figura 3 - Vista frontal em corte do biodigestor tipo Chinês	27
Figura 4 - Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo Chinês	28
Figura 5 - Representação do biodigestor modelo Marinha Brasileira sem paredes divisórias internas	30
Figura 6 - Modelo Canadense de biodigestor	30
Figura 7 - Biodigestor do modelo tipo Batelada.....	32
Figura 8 - Representação tridimensional em corte do biodigestor tipo Batelada.....	33
Figura 9 - Diagrama de digestão anaeróbia	39
Figura 10 - Planta geradora de energia elétrica, calor e frio a partir do biogás gerado por biodigestores	45
Figura 11 - Gráfico de relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume	52
Figura 12 - A economia do biogás: a produção, distribuição e os bens e serviços do gás	58
Figura 13 - Localização do município em estudo - Cacoal/RO	62
Figura 14 - Faixa etária.....	67
Figura 15 - Nível de escolaridade.....	68
Figura 16 - Posse da propriedade onde está localizada a unidade de processamento	70
Figura 17 - Sistema de organização da agroindústria.....	71
Figura 18 - Origem da matéria-prima.....	73
Figura 19 - Procedência dos insumos utilizados na agroindústria.....	74
Figura 20 - Registro em órgãos de fiscalização sanitária	75
Figura 21 - Destino do resíduo no estabelecimento	75
Figura 22 - Conhecimento sobre biodigestor	76
Figura 23 - Razões da não utilização da tecnologia biodigestora.....	77
Figura 24 - Partes do biodigestor e distância entre elasFonte: Mattos e Farias Júnior, 2011 ..	89
Figura 25 – Operação diária do biodigestor	90
Figura 26 - Adaptação Dos Queimadores Superiores Do Fogão A Gás	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais fontes de energia para consumo agropecuário	21
Tabela 2 - Usinas de biogás em operação no Brasil	46
Tabela 3 - Tipo de agroindústria/produtos de desenvolvem.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipologia de Agroindústrias Rurais	14
Quadro 2 - Potencial de redução da contaminação através da biodigestão	20
Quadro 3 - Comparação entre três modelos de biodigestores	31
Quadro 4 - Legenda	33
Quadro 5 - Relação esterco: água	35
Quadro 6 - Inibidores e sua concentração tóxica em processos de digestão anaeróbia.....	42
Quadro 7 - Matérias-primas: fontes de resíduos.....	44
Quadro 8 - Composição média do biogás.....	48
Quadro 9 - Propriedades físicas e químicas do metano	49
Quadro 10 - Produção diária de dejetos por animal adulto	50
Quadro 11 - Expectativa de produção de biogás por biomassa	51
Quadro 12 - Potencial de produção de biogás	51
Quadro 13 - Poder Calorífico de alguns combustíveis	53
Quadro 14 - Comparação entre diferentes fontes energéticas e o biogás	54
Quadro 15 - Equivalência energética do biogás (1 m ³) comparada a outros combustíveis.....	54
Quadro 16 - Relação de consumo de biogás em equipamentos	56
Quadro 17 - Consumo de biogás por aplicação	56
Quadro 18 - Componentes do biofertilizante	59
Quadro 19 - Consumo com gás GLP	79
Quadro 20 - Necessidade diária e mensal de biogás	80
Quadro 21 - Quantidade de dejetos necessários diariamente	82
Quadro 22 - Resumo de potencial gerador de biogás no local	84
Quadro 24 - Indicadores de Viabilidade.....	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Problematização.....	13
1.2 Hipóteses.....	15
1.3 Justificativa	15
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo Geral.....	17
1.4.2 Objetivos Específicos	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 Propriedades rurais e o potencial poluidor dos dejetos	18
2.2 Biodigestor.....	22
2.2.1 Biodigestor contínuo.....	24
2.2.2 Biodigestor tipo batelada ou descontínuo.....	31
2.2.3 Dimensionamento e instalação de biodigestores	34
2.3 Processo de digestão anaeróbica	36
2.3.1 Fatores que influenciam na digestão anaeróbia	40
2.4 O combustível do biodigestor: a biomassa	43
2.5 O Biogás.....	45
2.5.1 Estimativa da produção de biogás.....	50
2.5.2 Poder Calorífico.....	52
2.5.3 Aplicação do biogás	55
2.6 Biofertilizante.....	58
3 METODOLOGIA.....	61
3.1 Tipo, método e abordagem	61
3.2 Coleta e análise dos dados.....	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 Estudo de caso.....	78
4.1.1 Capacidade de produção de biogás e quantificação do gás a ser usado	80
4.1.2 Análise econômica.....	85
4.1.3 Escolha do local e procedimentos para a instalação do biodigestor	88
4.1.4 Manejo e operação diária do biodigestor.....	90
4.1.5 Adaptação de equipamentos para o funcionamento a biogás.....	91
4.1.6 Medidas de segurança e manutenção do biodigestor.....	92
5 CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS	96
APÊNDICE	100
ANEXO.....	104

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais (2012) anualmente, o Brasil libera muitas toneladas de metano para a atmosfera, causando poluição, principalmente em decorrência do setor agrícola e da decomposição de resíduos urbanos e industriais. Em relação aos resíduos, a recuperação desse metano para a produção de energia por meio da queima de biogás não só mitigaria o problema, como transformaria o que seria uma preocupação ambiental em algo de valor econômico.

De acordo com Oliveira (2009), durante o período de crise energética na década de 1970 foi que o Brasil passou a buscar por alternativas energéticas e ampliar o interesse pela aplicação de tecnologias relacionadas ao processo de digestão anaeróbia. Mas devido à necessidade cada vez maior de preservação do meio ambiente, atualmente, seu interesse está mais relacionado à capacidade de estabilização dos resíduos que esse processo oferece.

Deste modo, é evidente a necessidade do tratamento de dejetos nos sistemas produtivos e para tanto, existem inúmeras tecnologias mais limpas disponíveis no mercado com o objetivo de mitigar o abuso ao meio ambiente. Entre elas, encontram-se o tratamento aeróbico, ou compostagem, que utiliza do ar atmosférico e resulta num adubo orgânico; e o tratamento anaeróbio, com uso de biodigestores sem a presença de oxigênio, obtendo o biogás e o biofertilizante (COSTA, 2012).

Para Oliveira (2009) o desenvolvimento e implementação de processos sustentáveis capazes de converter a biomassa em vários produtos com valor agregado é uma necessidade, que aproveita os diversos resíduos agroindustriais e geram menor impacto ambiental. A destinação e o tratamento correto dos dejetos é um problema encontrado por diversos sistemas de produção, que quando manejados de forma inadequada, além de afetarem negativamente o meio ambiente, trazem prejuízos à saúde da sociedade e maiores custos administrativos a organização.

Como forma de desenvolvimento sustentável, o uso de energias renováveis é uma alternativa tecnológica capaz de gerar ótimos resultados. Melhora a gestão dos recursos econômicos da propriedade, evita problemas ambientais e de saúde humana, contribui para a estabilização dos níveis de consumo dos recursos naturais e soluciona problemas de abastecimento energético mundial (Gaspar, 2003).

Oliver (2008) ressalta que ao contrário do álcool obtido da cana-de-açúcar e de óleos extraídos de outras culturas para gerar energia, o biogás não compete com a produção de alimentos em busca de terras disponíveis. Assim, pode ser inteiramente obtido de resíduos

agrícolas, excrementos animais e de pessoas, que ao contrário de ser fator de poluição transforma-se em auxiliar do saneamento ambiental.

Oliveira (2009) defende que a utilização da biomassa e o aproveitamento dos resíduos rurais, efluentes industriais e urbanos como fontes renováveis e sustentáveis de energia, o que antes era desperdiçado agora pode gerar diversos benefícios. Dentre eles, o autor destaca:

- A. Os benefícios ambientais: pela eliminação de resíduos dispostos de modo irregular, diminuição da contaminação da água, solo e ar, como também geração de energia renovável e limpa;
- B. Benefícios sociais: pois evita o contato humano aos resíduos e à proliferação de pragas e outras doenças e;
- C. Benefícios econômicos: por meio da geração de energia através do biogás e uso de biofertilizantes, subprodutos advindos do processo de digestão anaeróbia.

Barichello (2010) destaca que as necessidades do uso de fontes alternativas de energia passaram a ter um crescimento exponencial em todo o mundo. Assim, o uso de biodigestores, para o aproveitamento da biomassa, torna-se uma excelente fonte de geração de energia a partir do processo de biodigestão anaeróbia da matéria orgânica, que obtém em sua composição final uma quantidade significativa de gás metano, com alto poder energético, passível de ser utilizado como fonte geradora de energia e ainda aproveitando o potencial fertilizante do conteúdo residual, agregando valor ao mesmo e diminuindo os custos.

O aproveitamento da biomassa residual oriunda das atividades agrícolas e pecuárias se destaca devido a grande quantidade de resíduos descartados diariamente nas propriedades, estes com alto potencial para geração de biogás (KARLSSON ET AL., 2014). Sendo assim, esse trabalho tem como foco destacar o potencial de produção de biogás a partir do tratamento anaeróbio de dejetos suínos e bovinos, para a geração de energia térmica em substituição ao gás liquefeito de petróleo (GLP ou gás de cozinha), carvão e/ou lenha.

É neste contexto que se coloca a questão do biogás, que segundo Bley Jr. (2015), foi sempre desprezado entre os recursos energéticos devido ao injustiçável preconceito de ser originado do lixo, esgoto, restos, fezes de animais e poluentes descartáveis, que o tinham como subproduto um gás sem valor econômico, e logo, descartável.

Para a obtenção e utilização desse gás, existe atualmente um enorme quantitativo de modelos de biodigestores, que segundo Oliveira (2009) e Gaspar (2003) podem ser caracterizados de forma geral como uma câmara de fermentação isenta de ar atmosférico,

geralmente circular, construída abaixo do nível do solo, que quando em condições adequadas produz biogás. Cada modelo de biodigestor pode ser adaptado à organização dependendo da sua realidade e necessidade, dentre eles, podem ser destacados modelos com carregamento contínuo: como, o modelo Chinês, Indiano e da Marinha brasileira; e o modelo com carregamento do tipo batelada.

O processo realizado dentro da câmara de fermentação do biodigestor é definido como digestão anaeróbica, e como todo processo biológico, tem sua produtividade dependente de vários fatores, como temperatura, pH, razão entre água e sólidos, carbono e nitrogênio, tamanho da partícula sendo digerida, composição do material digerido, tempo de retenção, entre outros. (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012).

Para Costa (2012) a geração de energia obtida a partir de resíduos dentro das propriedades rurais e/ou industriais está fazendo com que sistemas produtivos sejam autossuficientes energeticamente. O excedente de gás produzido ainda pode ser vendido e obtido créditos de carbono a organização, garantindo impactos positivos e atrativos tanto de forma ambiental quanto social e econômica.

O mesmo autor defende que o aproveitamento de resíduos produzidos pelo processo de biodigestão anaeróbia é eficiente para o manejo sanitário e atende as exigências do licenciamento ambiental necessário as propriedades para que possam permanecer em suas atividades e ainda representa uma importante ferramenta para redução de custos e geração de receita.

Neste sentido, o biodigestor apresenta-se como uma fonte alternativa e limpa de geração de energia que utiliza de diversas fontes residuais e garante maior vantagem econômica. Pode ser utilizado como fonte geradora de energia elétrica e térmica, que substitui o gás liquefeito de petróleo e lenha em diversos sistemas produtivos, reduz os cortes de madeira e obtém biofertilizante, contribuindo para uma ascendente viabilidade econômica (OLIVEIRA, 2009).

1.1 Problemática

Segundo Guanzioli (2010) o conceito de agroindústria rural pode ser sistematizado por um conjunto de características, vetores de desenvolvimento, que compõe o mesmo. Relativo a propriedade, as agroindústrias trabalham com a verticalização da produção, pois produzem a matéria prima como também as industrializam. A gestão e a mão de obra se dá

pela família envolvida, com baixo nível tecnológico dos equipamentos e automatização, limitando a escala de produção ao número de pessoas envolvidas, capacidade dos equipamentos, das instalações e do nível tecnológico adotado.

Em atenção ao processamento de alimentos e a dinâmica da agricultura familiar Guanziroli (2010) conceitua uma tipologia para agroindústrias familiares revelando como se dá a relação dos tipos, quanto ao mercado e a validação legal da qualidade, como segue o quadro 1.

Quadro 1 - Tipologia de Agroindústrias Rurais

Tipo de Agroindústria Rural	Relação com Agricultura	Relação com o Mercado	Validação Legal
Agroindústria Caseira	Sem equipamentos específicos	Prioridade de consumo e vende excedente em mercados locais	Informalidade e nenhum controle sanitário
Agroindústria Familiar Artesanal	Produtos típicos da culinária característica de determinada região	Direcionado ao mercado local/regional	Segue Boas Práticas de Fabricação (BPF), visando avançar na qualidade sanitária.
Agroindústria Familiar de Pequeno Porte	Agroindústria convencional de pequena escala, surgem como oportunidade de renda para uma família	Mercados regionais e/ou nacionais	Parâmetros são os mesmos das grandes indústrias, em termos de controle sanitário.

Fonte: Guanziroli, 2010 (Adaptado)

Legrini & Gazolla (2006) destacam que a carência de políticas públicas que incentivem a desburocratização do sistema de inspeção faz com que as agroindústrias geralmente operem na informalidade e as impossibilitem de crescer e desfrutar de novos mercados e canais de comercialização. Em alguns casos, os autores advertem que isso acarreta no fechamento da maioria das unidades devido à fiscalização.

O processo de legalização de acordo com Pelegrini & Gazolla (2006), refere-se à regularização dos documentos e licenças de funcionamento da agroindústria perante o Estado. Este sistema envolve licenças ambientais, jurídicas, sanitárias, e outras, que visam deixar as unidades agroindustriais de acordo com a legislação vigente e dessa maneira, garantir a

higiene e a sanidade, na produção, processamento e na comercialização dos alimentos, bem como o atendimento à preservação dos recursos naturais.

Como já mencionado, as atividades agrícolas e pecuárias se destacam devido a grandes quantidades de resíduos descartados diariamente nas propriedades, estes com alto potencial poluidor, como também, gerador de biogás (KARLSSON ET AL., 2014). Visto ainda os custos relativos ao processo produtivo das agroindústrias e a necessidade de regularização destas, o intuito do estudo vem a fim de dar alternativas sustentáveis para as agroindústrias se adequarem a legislação vigente com intuito de aumentarem sua renda, reduzindo os custos e ampliarem seu mercado consumidor.

Com isso, frente ao potencial altamente poluidor apresentado pelos dejetos da atividade agrícola e pecuária e a necessidade de regularização das agroindústrias para consecutiva adequação as normas legislativas, cabem alguns questionamentos que nortearão o desenvolvimento da pesquisa, como: O biodigestor contribui para redução da poluição ambiental, assim como para a redução dos custos dos sistemas produtivos com o uso do biogás?

Para responder a essas perguntas, este trabalho teve como escopo realizar uma pesquisa teórica sobre o assunto em questão e um posterior estudo de caso, a fim de verificar o custo-benefício de utilização do sistema de biodigestão.

1.2 Hipóteses

Segundo Gil (p. 31, 2002) a hipótese “é a proposição testável que pode vir a ser a solução do problema”. Para tanto, a fim de apresentar as possíveis respostas aos problemas da pesquisa, foi elaborada a seguinte hipótese:

Os biodigestores utilizam como matéria-prima o material orgânico depositado no solo e a partir do biogás produzido é susceptível de ser usado como fonte energética, reduzindo os custos e agregando valor à organização, como também para a mitigação do efeito estufa e redução dos problemas ambientais.

1.3 Justificativa

Diante da realidade em que vivemos, os principais desafios enfrentados pelas propriedades rurais estão relacionados à disposição irregular dos resíduos sólidos. Estes têm

contribuído para a emissão de gases, causadores do efeito estufa, principalmente metano, que se manipulado de forma alternativa e aproveitado para produção de energia, deixará de gerar impacto negativo ao meio ambiente e virá a contribuir significativamente para a redução de custos e aumento da receita para a organização (BARICHELO, 2010).

A discussão acerca da necessidade de preservação do meio ambiente não é nova e as exigências em torno desse enfoque são cada vez maiores. Logo, alternativas sustentáveis de produção devem ser utilizadas pelas organizações a fim de que seja minimizado o potencial poluidor ocasionado pelos sistemas produtivos e que ainda sejam economicamente viáveis a sua implantação.

Oliveira (2009), Gaspar (2003) e Barichello (2010) afirmam que o biogás é um composto formado basicamente por metano e dióxido de carbono que apresenta um alto poder calorífico e pode ser utilizado em diversas aplicações como, combustível, na produção de calor, energia, aquecimento, resfriamento, iluminação a gás, entre outros, agregando valor ao subproduto, consequente redução nos custos e ganho ambiental.

Segundo Reis (2012) a utilização energética do biogás apresenta grande importância estratégica dentro do enfoque dos impactos ambientais, pois além de viabilizar seu aproveitamento como fonte de energia, contribui para o controle das emissões do gás metano na atmosfera, já que têm um potencial de aquecimento global vinte vezes maior do que o gás carbônico.

Para Oliveira (2009) a utilização desse gás obtido em larga escala permitiria que a humanidade reduzisse o consumo de combustíveis não renováveis e ainda se tornaria uma ferramenta que contribui na redução do efeito estufa e consequentemente em medida mitigadora do aquecimento global.

Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais (2012) a digestão anaeróbia possui vários impactos ambientais positivos, em comparação com as atuais fontes de energia. O primeiro refere-se à eliminação quase completa de compostos fétidos dos resíduos, assim como dos patógenos presentes; e em segundo, a emissão de gases do efeito estufa também são diminuídas, já que o metano que seria liberado para a atmosfera é usado na produção de energia.

A utilização da tecnologia de biodigestores ainda apresenta vantagens relacionadas à redução da exposição dos dejetos animais e consequente redução dos odores destes. Com a destinação incorreta e o manejo inadequado desses resíduos, o local fica propício ao

desenvolvimento de microrganismos patogênicos e coloca em risco a saúde da população local (GASPAR, 2003).

Dessa percepção, surge a possibilidade do uso de uma tecnologia para o controle da poluição, que por ação de bactérias decompõe a matéria orgânica, proporcionando a redução do impacto ambiental, geração de biogás e biofertilizante, garantindo assim a possibilidade de redução dos custos, adequação com as normas sanitárias de processo e ainda redução do impacto ambiental, como também da insatisfação social.

1.4 Objetivos

Como forma de sistematizar e orientar o trabalho foram estabelecidos objetivo geral e objetivos específicos para a realização da pesquisa e assim contribuir para o andamento do projeto.

1.4.1 Objetivo Geral

Verificar os motivos da não utilização da tecnologia biodigestora nas agroindústrias de Cacoal/RO, assim como apresentar os benefícios econômicos obtidos com o seu uso.

1.4.2 Objetivos Específicos

Visando atingir o objetivo geral, alguns objetivos foram requeridos, como:

- A. Verificar os fatores que levam as agroindústrias a não utilizarem da tecnologia de biodigestão;
- B. Determinar, com base nos levantamentos bibliográficos, o potencial gerador de biogás a partir de dejetos suínos e bovinos em uma agroindústria;
- C. Estudar a relação custo-benefício de investimento da tecnologia por meio da utilização do biogás em substituição ao gás liquefeito de petróleo (GLP), bem como o tempo de retorno do investimento;
- D. Apresentar as possibilidades de uso dessa fonte energética para redução de custos ou ainda incremento nas receitas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico será apresentada uma breve descrição sobre os danos causados pela atividade da bovinocultura e suinocultura, bem como, as principais características, funções e modelos de biodigestores mais utilizados, assim como a descrição da matéria-prima básica utilizada para a biodigestão e os produtos obtidos pelo processo de decomposição.

2.1 Propriedades rurais e o potencial poluidor dos dejetos

De acordo com Junqueira (2014) o Brasil apresenta um setor agropecuário de destaque, com significativa importância no âmbito econômico e social. É um importante fornecedor de proteína animal com aproximadamente 212,3 milhões de cabeças de gado em 2014, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e conta com 5,1 milhões de estabelecimentos rurais, ocupados em 333 milhões de hectares (SARCINELLI, 2007).

Mais especificamente, o rebanho existente no estado de Rondônia destaca-se um total de 12.744.340 cabeças e em especial ao município de Cacoal, um total de 438.698 bovinos, segundo a Agência de Defesa Sanitária Agrosilvopastoril do Estado de Rondônia (IDARON, 2015).

A suinocultura também se destaca nesse setor, Walker (2009) afirma que esta, é uma atividade de importância tanto econômica quanto social, que apresenta boas perspectivas de crescimento para os próximos anos. Porém, apesar da sua relativa importância no produto interno bruto (PIB) brasileiro esse setor, pelo número tão expressivo de animais, vem sendo criticado por produzir grandes quantidades de dejetos diariamente nas propriedades rurais, quantidades estas significativas de gases do efeito estufa (GEE).

O autor ainda acrescenta que a suinocultura no Brasil é uma atividade predominantemente desenvolvida por pequenas propriedades rurais que emprega tipicamente mão-de-obra familiar e constitui uma importante fonte de renda e estabilidade social. Entretanto, pela Legislação Ambiental (Lei 9.605/98 - Lei de Crimes Ambientais), se enquadra como grande poluidora ambiental e o produtor pode ser responsabilizado criminalmente por eventuais danos causados ao meio ambiente e à saúde dos homens e animais.

Segundo Ferreira (p. 6, 2013) “qualquer que seja o sistema de produção animal adotado pela propriedade rural, a geração de esterco é característica intrínseca da atividade”. A concentração de nutrientes existente nos dejetos em geral é elevada, porém é variável em função do manejo e da dieta alimentar fornecida.

Em propriedades rurais é comum o cultivo simultâneo da agricultura com a pecuária e é frequente o lançamento direto de dejetos no campo sem o devido tratamento (OLIVER, 2008). Essa prática, segundo Ferreira (2013) pode ocasionar a poluição do ambiente, tendo em vista que as plantas nem sempre conseguem absorver todos os nutrientes presentes nesses dejetos, o que leva ao acúmulo dos mesmos no solo.

Walker (2009) afirma que a principal causa da poluição ambiental dessa atividade é o lançamento direto do esterco nos cursos de água sem o devido tratamento. Ainda, as criações como a de suínos, acarreta a poluição associada ao odor dos dejetos provocado pela evaporação dos compostos voláteis contidos no esterco. Este malefício é causador de conflitos sociais entre os proprietários e as pessoas em torno, muitas vezes considerando essa atividade tanto ambiental quanto social indesejável nas comunidades.

Segundo Oliver (2008) a carga microbiana presente no esterco é um fator de grande relevância na escolha dos procedimentos de manejo em virtude da possibilidade de transmissão de doenças entre animais do rebanho, animais de outras espécies e até pessoas. O autor acrescenta que a contaminação de lagos, açudes e rios pelos dejetos, a infiltração da água contaminada no lençol freático e a proliferação de moscas são exemplos da poluição ambiental provocada pelo inadequado manejo dos dejetos.

Ferreira (2013) salienta que além dos aspectos relacionados à contaminação química do meio ambiente, os dejetos agropecuários podem ser portadores de diversos agentes patogênicos. Os dejetos de bovinos, muito utilizados na adubação de lavouras e pastagens em seu estado natural, permite a ininterrupção do ciclo biológico de patógenos como a *Escherichia coli* e de diversos nematódeos gastrintestinais.

Sendo assim, os dejetos quando aplicados ao solo em seu estado natural aumenta a pressão poluidora sobre o meio ambiente e a utilização de sistemas de tratamento anaeróbicos, apresentam-se como alternativa para minimização dessa poluição e dos impactos ambientais, que ainda agregam valor aos efluentes do ponto de vista energético, bem como fertilizantes (FERREIRA, 2013).

Oliver (2008) destaca que altos níveis de bactérias na água de consumo podem acarretar o aumento da mortalidade, diminuição da produtividade e da qualidade dos

produtos. Com o devido manejo dos dejetos para uma caixa digestora, da entrada à saída, ocorre a diminuição do efeito poluente do material, com significativa redução dos coliformes totais e fecais, além da eliminação de ovos das larvas infectantes de endoparasitas, como mostra o quadro 2.

Quadro 2 - Potencial de redução da contaminação através da biodigestão

Organismos	Temperatura (°C)	Tempo de digestão (Dias)	Destruídos (%)
Poliovirus	35	2	98,5
<i>Salmonella ssp.</i>	2 a 37	6 a 20	82-98
<i>Salmonella typhosa</i>	22 a 37	6	99
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	30	-	100
<i>Ascaris</i>	29	15	90
<i>Cistos de parasitos</i>	30	10	100

Fonte: Oliver, 2008 e Jorge, 2004

Para Nogueira (1986), é praticamente impossível a sobrevivência de patógenos no efluente do biodigestor, sejam bactérias, vírus ou ovos e cisto de protozoários e vermes, em decorrência da ausência de oxigênio e ao valor elevado de pH, que é ácido, em torno de 6, na fase inicial da fermentação. Dessa forma, os biodigestores constituem-se um instrumento de sanitização dentro da propriedade rural.

Segundo Walker (2009) as propriedades agrícolas também têm se preocupado com o acelerado aumento em seus custos de produção e manutenção, causados pelo aumento das tarifas de energia, tanto doméstica, como em gás de cozinha, iluminação e aquecimento, quanto para a produção, em aquecimento de galinheiros e chiqueiros, motores, tratores, maquinário agrícola e outros.

Enquanto muitas vezes o esterco é desperdiçado nas propriedades, poluindo o ambiente e as águas por falta de uma tecnologia prática e adequada para o seu aproveitamento racional, a aquisição de fertilizantes também tem contribuído para o aumento dos custos nas propriedades (WALKER, 2009).

Oliver (2008) destaca que a escassez de fontes energéticas para fins produtivos como para cocção, iluminação, resfriamento e aquecimento é um grave problema enfrentado por produtores rurais. Para ele, a lenha é a fonte de calor mais comumente utilizada, porém é um recurso escasso e que deve ser preservado. Sua queima é responsável pelo desmatamento que

agrava o problema da seca, causa erosão, coloca em risco a fauna e flora do ecossistema e prejuízos à saúde humana exposta diariamente à fumaça.

“A aquisição de gás liquefeito de petróleo (GLP), ou gás de cozinha, representa um item de custo significativo no orçamento familiar. Já o uso de querosene para iluminação, além do alto custo, também polui o ar dentro de casa” (OLIVER, p. 5, 2008). As principais fontes de energia utilizadas para consumo no segmento agropecuário segundo o mesmo autor estão destacadas na tabela 1.

Tabela 1 - Principais fontes de energia para consumo agropecuário

Fonte de energia	Consumo
Óleo diesel	58%
Lenha	26%
Energia elétrica	15%
Outros	1%

Fonte: Oliver, 2008

Walker (2009) acrescenta que embora o uso da energia da biomassa seja predominantemente doméstico nas áreas rurais dos países em desenvolvimento, cada vez mais se percebe que também pode ser uma fonte importante de combustível. Além de ser usada para cocção de alimentos, também pode ser utilizada como fonte de energia em processamentos agroindustriais e na fabricação de tijolos, telhas, cimento, fertilizantes e outros.

O mesmo autor destaca que o Brasil tem condições ímpares para criar um programa de biomassa energética capaz de recompor a produção rural, aproveitando a infraestrutura das propriedades, aumento da renda e a criação de milhares de empregos. Possui características especialmente adequadas à produção de biomassa para fins energéticos: clima tropical úmido, terras disponíveis, mão-de-obra rural abundante e carente de oportunidades de trabalho, e nível industrial tecnológico disponível (WALKER, 2009).

Oliver (p. 10, 2008) reforça que a preocupação com o meio ambiente simultaneamente com os avanços das leis ambientais, atenção à poluição de recursos hídricos e medidas mitigadoras sobre os efeitos da ação do homem sobre o clima global, tem despertado na população um interesse para a produção de energias sustentáveis e biocombustíveis, apontando o biodigestor como uma alternativa para a agricultura sustentável.

A biodigestão anaeróbia dos dejetos é uma eficiente tecnologia no aproveitamento de resíduos agropecuários que contribui no saneamento ambiental, produção de adubo e geração de biogás. “Com isso, aumenta a produção agrícola, permite a integração das atividades agropecuárias e a transformação dos produtos, agregando valor, organizando a produção, beneficiando a conservação dos produtos e melhorando a logística” (OLIVER, p. 5, 2008).

“A biodigestão anaeróbica representa, portanto, uma alternativa para o tratamento de dejetos produzidos na criação animal, reduzindo ao mínimo os riscos sanitários dos mesmos” (FERREIRA, p.8, 2013).

Sendo assim, a utilização de fontes alternativas, como o uso de biodigestores para o tratamento dessa matéria orgânica torna-se essencial para a redução do impacto ambiental advinda da decomposição desses dejetos, permitindo ainda a agregação de valor ao resíduo mediante a utilização de biofertilizantes, como também do biogás (OLIVER, 2008).

2.2 Biodigestor

Segundo Barichello (2010) o biodigestor é um equipamento no qual ocorre a fermentação controlada da matéria orgânica, proporcionando a redução do impacto ambiental e a geração de combustível a um baixo custo.

Para Oliveira (2009) o biodigestor ou simplesmente digestor, é definido como uma câmara de fermentação ou tanque, com formato geralmente circular, construído abaixo do nível do solo visando minimizar as variações de temperatura, que em certos casos podem levar à interrupção do processo de fermentação e consequentemente à paralisação na produção do gás.

Ainda, Deganutti et al. (2002) descrevem que o biodigestor constitui-se de uma câmara fechada onde é depositado um material orgânico em solução aquosa, que sofre decomposição, gerando o biogás, e que este irá acumular-se na parte superior da referida câmara.

Para Roy (2011) os biodigestores são tanques isolados e livres do ar atmosférico que a partir de efluentes orgânicos ocorre a biometanização por meio de bactérias e produzem derivas nos três estados básicos da matéria: no estado gasoso, o biogás; no sólido, o biofertilizante; e no estado líquido, o efluente mineralizado usado na produção de microalgas.

Um biodigestor é composto basicamente por uma câmara fechada, na qual no seu interior é depositada uma biomassa (matéria orgânica) que será fermentada através da ação de

bactérias anaeróbicas, isto é, sem a presença de ar. Como resultado dessa decomposição, ocorre a liberação de um gás combustível - biogás - e a produção de biofertilizante.

Secchi (2014) acrescenta que, um biodigestor refere-se a um reator no qual ocorrem reações químicas de origem biológica e seu uso é disseminado por toda parte do mundo pela sua funcionalidade devido sua utilização em tratamento de dejetos de animais, principalmente em comunidades rurais.

Barichello (2010) explica que para o funcionamento do biodigestor os dejetos são enviados para dentro do tanque, onde estará presente uma grande quantidade de microrganismos que irão fermentar toda a matéria orgânica presente no resíduo. Ainda acrescenta, que para ocorrer de maneira eficiente esse processo, é importante que a temperatura do tanque mantenha-se constante, cerca de 35°C, caso haja uma oscilação brusca dessa temperatura, a produção do biogás diminuirá drasticamente.

São vários os tipos de biodigestores, mas, em geral, todos são compostos basicamente por dois componentes: um recipiente para abrigar e permitir a digestão da biomassa; e um gasômetro (campânula), para armazenar o biogás (GASPAR, 2003).

Atualmente, existe uma ampla gama de modelos de biodigestores, sendo cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade e depende de parâmetros como: a quantidade e tipo de dejetos disponível, a necessidade de energia, a necessidade de fertilizante e ainda da necessidade de tratamento desses dejetos (DEGANUTTI et al., 2002).

Comastri Filho (1981) também afirma a existência de vários tipos de digestores, com destaque para os modelos Chinês e o Indiano, porém ressalta que todos visam basicamente a mesma finalidade, de criar condição anaeróbica, isto é, a total ausência de oxigênio na biomassa a ser digerida.

O mesmo autor salienta que a escolha de um tipo de biodigestor ou de outro irá depender das condições locais, disponibilidade de substrato, experiência e conhecimento do construtor, investimento envolvido, entre outras razões. Mas, se for corretamente instalado e operado, qualquer modelo de digestor construído, dará uma boa produção de gás.

Diante a flexibilidade de construção e formato dos biodigestores, Gaspar (2003) apresenta uma classificação desses com relação à forma de abastecimento da biomassa no interior do tanque de digestão, podendo ser classificado como de maneira contínua ou do tipo batelada.

2.2.1 Biodigestor contínuo

São biodigestores em que o abastecimento da biomassa é feito diariamente e seu fluxo de descarga ocorre de maneira proporcional à entrada do mesmo. Quando corretamente manipulados fornecem gás permanentemente.

Costa (2012) destaca que esse modelo é assim chamado, pois a carga diária corresponde ao volume semelhante do material fermentado. A biomassa encontrada no interior do biodigestor se movimenta através da diferença hidráulica, entre a entrada do substrato e a saída do biofertilizante.

Para Junqueira (2014) esse tipo de biodigestor é continuamente alimentado com um substrato de fácil degradação e disponível abundantemente no local. Por meio de dutos de entrada ocorre a alimentação do tanque, como também a remoção do biofertilizante, por dutos de saída, contendo ainda uma tubulação na parte superior para a extração do biogás.

Dentre os diversos sistemas de abastecimento, os biodigestores de fluxo contínuo é o mais difundido no Brasil (GASPAR, 2003). Nessa categoria, podem ser destacados o modelo do tipo indiano, chinês e o do tipo canadense ou também conhecido como, da Marinha Brasileira.

Oliveira (2009) destaca que as diferenças não são expressivas entre o modelo chinês e o modelo indiano, sendo o maior diferencial referente à cúpula, em que no modelo chinês a mesma é fixa e de alvenaria, enquanto no modelo indiano, ela é móvel e construída a base de metal, fibra de vidro ou plástico resistente à corrosão.

2.2.1.1 Biodigestor tipo Indiano

De acordo com Oliveira (2009), o biodigestor tipo indiano consiste numa câmara de digestão, construída geralmente abaixo do nível do solo, e de uma câmpula móvel de material impermeável acoplada na sua parte superior servindo de tanque para o biogás (gasômetro).

Segundo Sganzerla (1983), este modelo devido à presença de uma câmpula flutuante, permite manter a pressão de escape do biogás estável, não sendo necessária regulação constante de aparelhos.

Oliveira (2009) aponta que a pressão interna do sistema permanece constante, sendo assim, à medida que o volume de biogás produzido não é consumido de imediato, o

gasômetro desloca-se verticalmente para cima, aumentando o volume de armazenamento do gás.

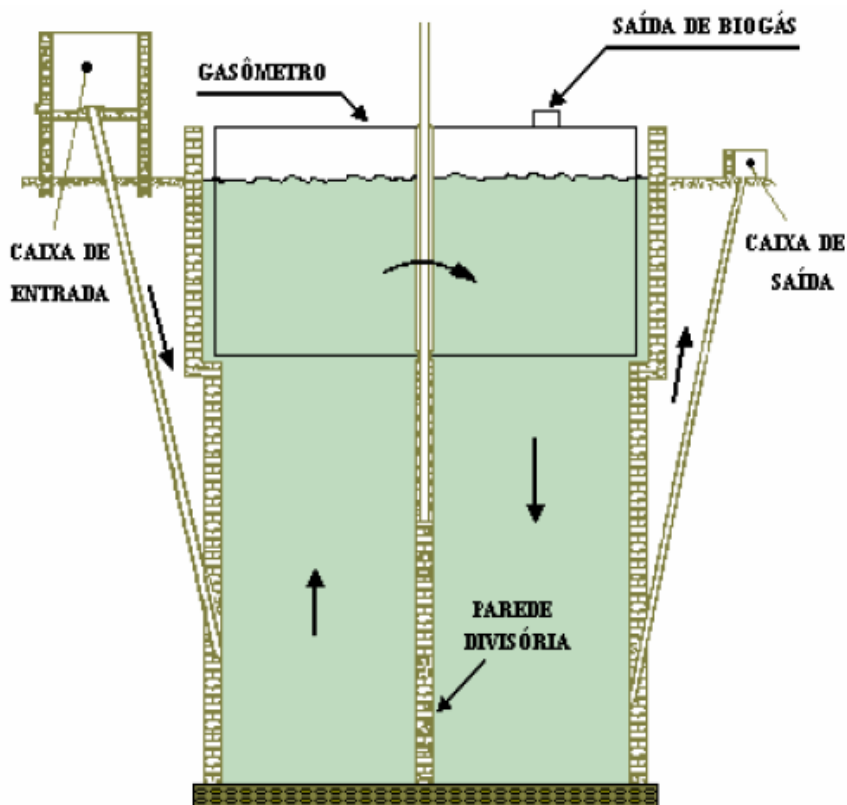
Deganutti et al. (2002), afirma que a câmpula utilizada como gasômetro pode estar disposta sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo e contribui para a redução de perdas durante o processo de produção do gás.

Além de possuir uma câmpula como gasômetro, o biodigestor apresenta uma parede central que divide o tanque de fermentação ao meio, a fim de fazer com que o material circunde por todo o interior do mesmo (SECCHI, 2014).

De acordo com Barichello (2010) o biodigestor indiano possui uma desvantagem econômica, razoavelmente significativa, pois possui sua câmpula construída geralmente a base de ferro ou fibra, o que encarece o custo final da sua implantação. Ainda, o mesmo autor, destaca uma vantagem de sua utilização, que aproveita a temperatura do solo, pouco variável, e acelera o processo de fermentação pela ação de bactérias.

Nas figuras 1 e 2 são apresentadas as representações do biodigestor tipo indiano. Na figura 1, mostra a vista frontal em corte do biodigestor, destacando os elementos fundamentais para sua construção.

Figura 1 - Vista frontal em corte do biodigestor tipo Indiano



Fonte: Prati, 2010

Na figura 2 é representado tridimensionalmente em corte o interior do biodigestor.

Figura 2 - Representação tridimensional em corte do biodigestor tipo Indiano



Fonte: Deganutti et al., 2002

Segundo Oliveira (2009) nesse modelo a alimentação deve ser feita diariamente, e o resíduo que o alimenta deve apresentar uma concentração máxima de 8% em volume de sólidos totais, a fim de favorecer a movimentação do fluido pela câmara, como também de evitar entupimentos nos canos de abastecimento e descarga.

2.2.1.2 Biodigestor tipo Chinês

Segunda Gaspar (2003) o modelo chinês é o mais rústico dentre os modelos, construído completamente em alvenaria e enterrado quase que totalmente no solo. Funciona normalmente a alta pressão, a qual varia em função da produção e consumo do biogás.

Oliveira (2009) destaca que esse modelo não apresenta partes móveis - gasômetro - e é constituído por uma única câmara, sem divisões, construído em alvenaria ou concreto, instalado abaixo do nível do solo. Sempre trabalha a elevadas pressões, o que exige cuidados especiais durante a instalação a fim de evitar trincas no tanque e com isso o escape do gás.

Segundo o mesmo autor, opta-se pela utilização desse sistema em pequenas e médias instalações onde há uma alta produção de biogás, pois parte do gás formado é liberado para a

atmosfera a fim de reduzir parcialmente a pressão interna da câmara, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte.

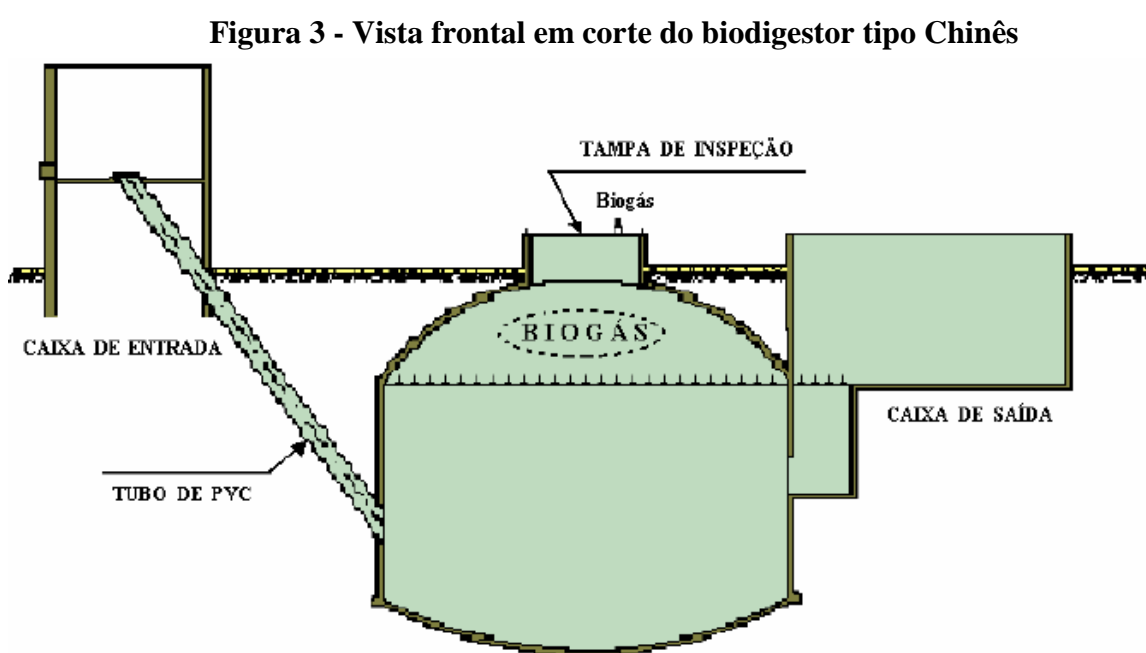
Para Barichello (2010) esse modelo foi desenvolvido voltado para pequenas propriedades rurais, sendo construído em alvenaria, de peça única e enterrado no solo, para ocupar menos espaço. Possui ainda um custo mais barato em relação aos demais.

De acordo com Deganutti et al. (2002) esse modelo é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação e conta ainda com um teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Para ele, esse modelo que dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, reduz os custos, contudo caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada pode ocorrer problemas com vazamento do biogás.

O funcionamento desse biodigestor segue o princípio de uma prensa hidráulica, em que o aumento da produção do biogás, aumenta a pressão interna da câmara forçando o deslocamento do resíduo interno para a caixa de saída, e em sentido contrário, quando ocorre o abaixamento da pressão (OLIVEIRA, 2009).

Barichello (2010) também destaca que esse modelo é o mais rústico dentre eles trabalhando normalmente a uma alta pressão não tendo possibilidade de instalar uma câmara de regulação, a qual lhe permitiria trabalhar com uma baixa pressão.

Nas figuras 3 e 4 são apresentadas as formas do biodigestor tipo indiano. Na figura 3, mostra a vista frontal em corte do biodigestor, destacando os elementos fundamentais para sua construção.



Fonte: Prati, 2010

Na Figura 4 é representado tridimensionalmente em corte o interior do biodigestor tipo Chinês.

Figura 4 - Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo Chinês



Fonte: Deganutti et al., 2002

Deganutti et al. (2002) destaca que esse modelo assemelha-se ao modelo indiano. O substrato deverá ser fornecido continuamente à concentração de sólidos totais em torno de 8% para evitar entupimentos, mas que em termos de desempenho, em determinados experimentos, o modelo indiano apresentou-se ligeiramente mais eficiente quanto a produção de biogás e redução de sólidos no substrato.

2.2.1.3 Biodigestor tipo Canadense ou Marinha Brasileira

De acordo com Oliveira (2009), na década de 70, o Instituto de Pesquisa da Marinha do Brasil realizou estudos sobre biodigestores e acabou por criar alguns modelos. O biodigestor desenvolvido apresenta uma base quadrangular, com paredes em alvenaria revestidas por uma lona impermeável e uma cúpula de lona preta também impermeável.

Segundo o mesmo autor esse modelo é mais raso e longo, garantindo uma maior produção de biogás por material fermentado. Contudo, sua utilização apresenta uma barreira devido a exigência de maior disponibilidade de espaço físico para sua instalação, que

necessita de uma grande área superficial, por apresentar uma pequena profundidade, para que consiga armazenar uma quantidade significativa de resíduo.

Junqueira (2014) destaca que esse modelo é do tipo horizontal, que apresenta uma caixa de carga em alvenaria com largura maior que a profundidade, contribuindo para uma maior exposição ao sol, o que possibilita uma grande produção de biogás e evita o entupimento do duto de entrada.

Durante a produção do biogás, a cúpula feita de material plástico maleável (PVC) infla acumulando o gás, podendo ainda este ser enviado para um gasômetro separado para um melhor controle (JUNQUEIRA, 2014).

De acordo com Barichello (2010) além da cúpula do biodigestor inflar durante a produção de gás, o mesmo pode ser retirado por ser feito de material maleável. Porém também destaca que o maior empecilho da utilização desse equipamento é por apresentar um alto custo da cúpula.

Para Secchi (2014) a utilização desse modelo é recomendado para locais onde há a predominância de altas temperaturas, além de constantes. Se utilizados em regiões frias, estes biodigestores podem ser equipados com um sistema de aquecimento e protegidos do vento.

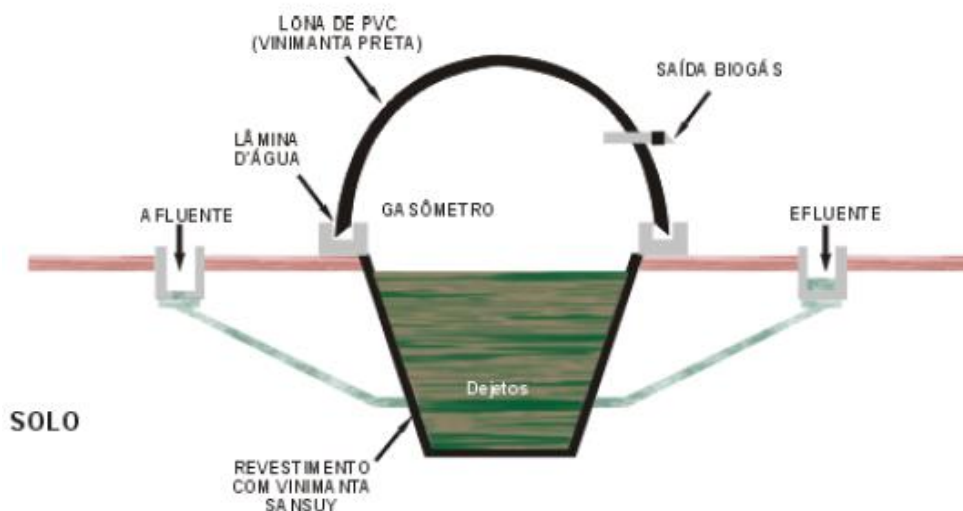
Por sua versatilidade ao uso de diferentes resíduos orgânicos, esse modelo é o mais indicado para agroindústrias e projetos industriais, e é capaz de armazenar grande quantidade de resíduos e conseqüentemente gerar grande quantidade de biogás e biofertilizantes (OLIVEIRA, 2009).

Para Oliveira (2009) esse modelo é o mais difundido no Brasil devido ao aprimoramento da manta impermeável. Esta, confeccionada em Policloreto de Vinila (PVC), que lhe confere menor custo, maior simplicidade na instalação, maior resistência a corrosão - devido a presença de água e gás sulfídrico - e ainda flexibilidade na utilização, podendo ser aplicados tanto em pequenos como em grandes projetos agroindustriais.

Junqueira (2014) afirma que o modelo Canadense é largamente utilizado em propriedades rurais, que apresenta construção simples, basicamente constituído de material plástico, porém que apresenta menor durabilidade em relação aos demais, com maior chance de perfuração da lona plástica e conseqüente vazamento do gás.

Oliveira (2009) destaca que uma variação desse modelo em relação aos demais se refere na construção do reservatório sem a presença de paredes divisórias, o que simplifica a construção, conforme pode ser observado na figura 5.

Figura 5 - Representação do biodigestor modelo Marinha Brasileira sem paredes divisórias internas



Fonte: Oliveira, 2009

Oliveira (2009) afirma que depois de construído o reservatório em alvenaria, o mesmo é impermeabilizado com uma manta de vinil preta com espessura de 0,8 mm para depósito do resíduo e coberto também por uma manta de vinil preta de espessura de 1,0 mm para evitar o escape do gás.

O mesmo autor recomenda que a construção seja feita abaixo do nível do solo a fim de evitar variações bruscas da temperatura, como também aproveitar o calor da terra e o calor gerado pela manta exposta ao sol garantindo uma temperatura ideal de funcionamento e consequentemente uma maior produção de biogás. Os raios solares que incidem na lona preta contribuem com 90% do aquecimento do biodigestor.

Na Figura 6 é apresentado o biodigestor tipo Canadense e a forma como reage sua cúpula de material plástico e maleável durante a produção do biogás.

Figura 6 - Modelo Canadense de biodigestor



Fonte: Barichello, 2010

Em biodigestores modelo Canadense, de acordo com Junqueira (2014), por serem constituídos basicamente de mantas plásticas, o biogás apresenta pouca pressão e devido a isso deve ser transportado por no máximo 50 metros, sendo recomendado ser instalado a pelo menos, 10 metros de qualquer edificação.

Oliveira (2009) também informa que devido à utilização da manta como gasômetro a mistura gasosa possui baixa pressão e se necessário for uma maior pressão, recomenda-se o uso de compressores.

A fim de comparar algumas características entre os biodigestores com fluxo contínuo, Oliveira (2009) apresenta um quadro com intuito de poder melhor visualizar as vantagens e desvantagens da utilização de cada modelo, conforme está apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Comparação entre três modelos de biodigestores

	Chinês	Indiano	Marinha Brasileira
Materiais	Tijolo, cimento, pedra e areia.	Tijolo, cimento, pedra, areia, ferro ou alumínio.	Tijolo, cimento, pedra, areia e plástico.
Isolamento térmico	Feito dentro da terra; bom isolamento natural, a temperatura constante.	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar. Menos indicado para climas frios.	Não tem problema de perda de calor.
Perda de gás	A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não porosos; difícil obter a construção estanque.	Sem problemas.	Sem problemas.
Manutenção	Deve ser limpo uma ou duas vezes ao ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez ao ano.	Deve ser limpo uma vez ao ano.

Fonte: Oliveira, 2009

2.2.2 Biodigestor tipo batelada ou descontínuo

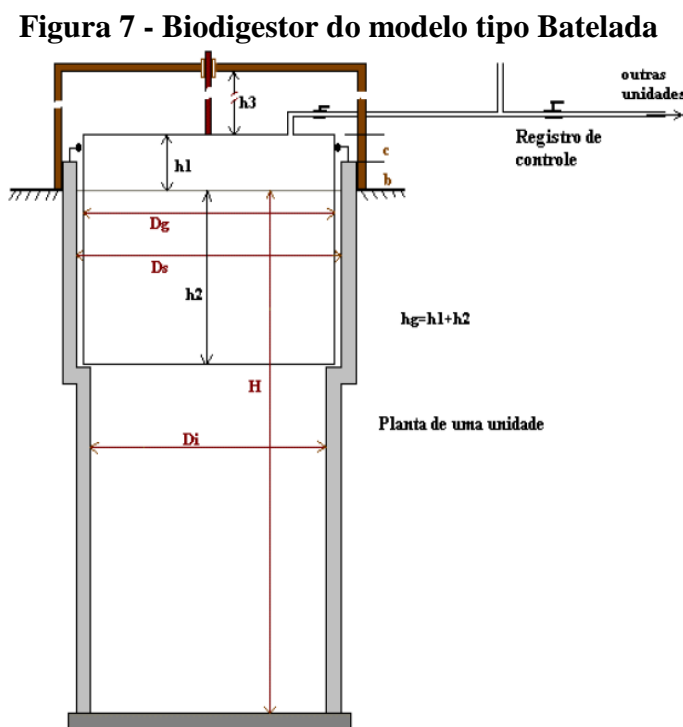
Para Gaspar (2003) em relação ao abastecimento de biomassa de forma intermitente refere-se quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento retendo a biomassa até a completa biodigestão. Após a completa fermentação do material e produção do gás é retirado os restos da digestão e feita nova recarga. Para o autor esse modelo é mais indicado quando se

utiliza de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como palhas ou forragem misturada a dejetos animais.

Oliveira (2009) acentua que esse modelo fornece biogás durante certo período, sendo interrompido para descarga do material fermentado e para nova carga do material orgânico a ser digerido. Depois de encerrada a produção do gás é feita a limpeza da câmara e a recarga pode ser feita tendo início a nova produção de biogás. Devido às suas características a utilização desse modelo pode se dar com apenas um tanque de biodigestão ou por vários postos em série.

Segundo Deganutti et al. (2002) esse tipo de biodigestor é abastecido de uma só vez, portanto não contínuo, que mantém em fermentação o material orgânico por um período conveniente e descartado após a efetiva produção do gás. O mesmo autor também destaca que esse modelo se adapta melhor quando a disponibilidade de material orgânico ocorre em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja biomassa fica a disposição após a venda dos animais e limpeza do galpão.

Na figura 7 mostra a vista frontal em corte do biodigestor tipo descontínuo, realçando os elementos fundamentais para sua construção de acordo com Deganutti et al. (2002).



Fonte: Deganutti et al., 2002

Observando a figura 7 Deganutti et al. (2002) define as variáveis como se mostra no quadro 4.

Quadro 4 - Legenda

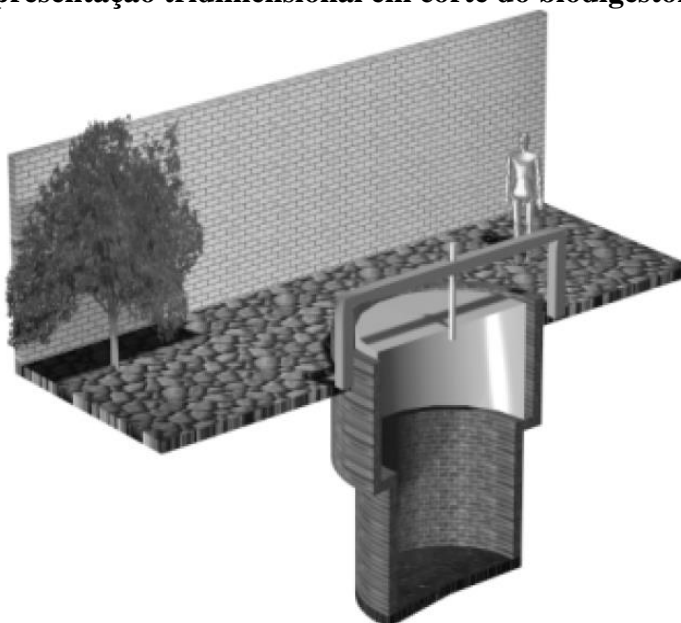
Di	diâmetro interno do biodigestor
Ds	diâmetro interno da parede superior
Dg	diâmetro do gasômetro
H	altura do nível do substrato
h1	altura ociosa do gasômetro
h2	altura útil do gasômetro
h3	altura útil para deslocamento do gasômetro
b	altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato
c	altura do gasômetro acima da parede do biodigestor

Fonte: Deganutti et al., 2002

Oliveira (2009) ressalta que esse tipo de biodigestor também pode ser construído em alvenaria, concreto ou aço e que após a introdução da matéria orgânica na câmara de digestão, esta é selada hermeticamente com o propósito de evitar o escape do gás. Possui apenas um duto de saída para a utilização do gás e dependendo da qualidade e quantidade da biomassa introduzida, a produção do biogás pode durar de três a seis meses.

Na figura 8 é apresentado o modelo do tipo descontínuo com representação tridimensional.

Figura 8 - Representação tridimensional em corte do biodigestor tipo Batelada



Fonte: Deganutti et al., 2002

Tanto no Brasil quanto no mundo existem diversos outros modelos de biodigestores em funcionamento, as quais andam sendo avaliados e utilizados por grandes e pequenas empresas utilizando como base os modelos apresentados, porém adaptados a cada realidade.

2.2.3 Dimensionamento e instalação de biodigestores

De acordo com Oliver (2008) e Comastri Filho (1981) alguns parâmetros devem ser levados em consideração para a escolha do local de instalação do biodigestor, como: as condições locais do solo, fácil acesso na obtenção, preparação e armazenamento da biomassa, fácil acesso aos locais de remoção e utilização do biofertilizante e a distância ao local de uso do biogás.

Comastri Filho (p. 36, 1981) destaca que o biodigestor deve ser instalado em local próximo ao ponto de coleta de esterco, aproximadamente vinte metros, e aos pontos de consumo do biogás. “Entretanto, se o ponto de oferta de esterco dista muito do de demanda do biogás, deve-se preferencialmente localizar o biodigestor próximo ao primeiro, visto que é mais simples transportar o biogás (por tubulação) que o esterco”.

Para Oliver (2008), em biodigestores de manta, o biogás terá pouca pressão e poderá ser conduzido até, no máximo, 50 metros e como medida de segurança recomenda uma distância mínima de 10 metros a quaisquer edificações. Ainda, quando possível, tentar aproveitar a declividade natural do terreno a fim de facilitar a carga e a descarga do biodigestor.

Alguns dispositivos de segurança também devem ser considerados no local onde o biodigestor será instalado, como: não permitir que se fume ou ascenda qualquer fogo nas proximidades; ser contornado por uma cerca, a fim de evitar a entrada de animais que podem danificar o sistema; construir um purgador na parte mais baixa da rede de distribuição do biogás, para evitar pressões elevadas e eliminar o vapor d'água contido no mesmo; e ainda instalar um filtro de H_2S , buscando aumentar a vida útil dos motores e aparelhos em uso (COMASTRI FILHO, 1981).

Oliver (2008) também assegura que a facilidade de acesso é um importante parâmetro na escolha do local de instalação do biodigestor, mas adverte que o equipamento deverá ser protegido de animais e crianças evitando danos, assim como instalá-lo longe de árvores, pois as raízes, com o tempo poderão crescer e furar o biodigestor.

Existem vários modelos de biodigestores. Os mais simples possuem um único estágio, alimentação contínua e sem agitação. Assim Oliver (2008) sugere um método prático de estimar o tamanho do biodigestor calculado com base no tempo de retenção dos dejetos, dado segundo a fórmula:

$$VB = VC \times TRH$$

Onde:

VB: Volume do Biodigestor (m³);

VC: Volume da carga diária (dejetos + água) (m³/dia);

TRH: Tempo de Retenção Hidráulico (dias).

Como pode ser verificado pela fórmula, utilizando de dejetos animais como a matéria-prima do biodigestor, para calcular o volume de carga diária adicionada ao tanque, é necessário conhecer a média da massa de dejetos produzidos diariamente pelo animal e somar com uma quantidade de água já pré-estabelecida de acordo com relação esterco: água, como mostra o quadro 5 (OLIVER, 2008).

Quadro 5 - Relação esterco: água

Espécie animal	Relação esterco (kg): água (l)
Caprinos/ovinos	1:4 a 5
Vaca	1:1
Vaca leiteira	1:1
Bezerro	1:1
Boi	1:1
Suíno	1:1,3

Fonte: Oliver, 2008 (Adaptado)

O tempo de retenção hidráulica - TRH utilizado para o cálculo do volume do biodigestor refere-se ao período de tempo em que as bactérias são capazes de degradar a matéria orgânica. Esse valor é variável em virtude das condições em que se encontra a matéria, mas em média esses valores são próximos de 35 dias para dejetos de bovinos e suínos, 45 dias para dejetos de caprinos e ovinos e de 60 dias para cama de frango, (OLIVER, 2008).

Obtido o volume do biodigestor, de forma geral, os procedimentos básicos destacados por Oliver (2008) para a instalação do biodigestor, utilizando como câmpula uma manta plástica de PVC, devem seguir instruções como:

- A. Escavar um buraco no solo, com medidas definidas dependendo do volume do biodigestor (retangular ou circular);
- B. Escavar um buraco menor, na saída do biodigestor, para acomodar o tonel ou caixa de saída de biofertilizante;
- C. Cobrir com uma manta plástica de pvc o buraco;
- D. Colocar tubos e colar mangas da manta no biodigestor;
- E. Fixar o perímetro da manta plástica, enterrando-o;
- F. Instalar tubulação de biogás;
- G. Iniciar carga.

Outras observações destacadas pelo autor é que a caixa de entrada do biodigestor poderá ser um tonel de plástico, ou um tanque em alvenaria, dependendo do volume de carga diária, assim como a caixa de saída, que deverá ser dimensionada com no mínimo três vezes o volume da carga diária para permitir o armazenamento do biofertilizante. Recomenda ainda a não utilização de tonéis de metal, pois enferrujam rapidamente (OLIVER, 2008).

Oliver (2008) e Mattos e Farias Jr. (2011) afirmam que junto ao biogás existe a presença de vapor de água, que por condensação se deposita nos pontos mais baixos da tubulação e que com tempo impede a passagem do gás. Por essa razão, toda a tubulação de gás deve ter em seus pontos mais baixos um dreno, feito com uma conexão “T” do qual sai um pedaço de tubo ou mangueira mergulhado em água dentro de uma garrafa ou uma caixa de concreto, mais fundo do que a pressão do biogás, tendo a finalidade de funcionar como válvula de segurança. Quando o gás borbulhar dentro do dreno, indica que o gasômetro está cheio e o gás deve ser utilizado.

2.3 Processo de digestão anaeróbica

Segundo Oliveira (2009) os efluentes industriais apresentam variações em relação as suas características físicas, químicas e microbiológicas de acordo com o produto e a tecnologia de fabricação utilizada. Assim, deve-se ressaltar que cada organização deve projetar seu próprio sistema de tratamento de acordo com as características de seu efluente.

A maioria dos compostos pode ser degradada via processo anaeróbico, apresentando maior eficiência e economia quando há utilização de dejetos mais facilmente biodegradáveis. O mesmo autor reforça que esse método tem sido muito aplicado em tratamento de resíduos sólidos, tais como culturas agrícolas, dejetos animais, tratamento de esgoto, dejetos industriais, entre outros (OLIVEIRA, 2009).

Um fato que para o mesmo autor deve ser observado é que as operações unitárias advindas de uma estação de tratamento são invariáveis e envolvem a participação de microrganismos no processo biológico, que promovem a redução da matéria orgânica em biomassa e biogás. Grande parte da energia armazenada na biomassa é perdida nesse processo de decomposição, pois as bactérias responsáveis por essa atividade retiram da biomassa substâncias que necessitam para sua sobrevivência e em contrapartida lançam gás e calor para a atmosfera.

De acordo com a Companhia Energética de Minas Gerais (2012) a reciclagem da matéria orgânica, gerada pela morte dos seres vivos, é realizada por microrganismos que quando não utiliza o oxigênio para a quebra dos nutrientes é denominado o processo de digestão anaeróbica.

Barichello (2010) descreve que o processo de digestão anaeróbia refere-se ao tratamento de materiais orgânicos que se desenvolvem em ambientes ausentes de oxigênio e representa uma reconhecida opção energética pela conversão da maior parte poluente do efluente em uma fonte de energia e pela vantagem ambiental.

Zilotti (2012) descreve que o processo de transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, provém de uma cadeia sucessiva de degradação causada pelo processo de fermentação de diferentes tipos de bactérias.

Oliveira (2009) descreve que o processo de digestão anaeróbica refere-se à degradação e estabilização da matéria orgânica com consequente formação de metano, produtos inorgânicos (dióxido de carbono) e biofertilizantes (matéria orgânica estabilizada). Sua representação pode ser dada segundo a equação:



Para Oliveira (2009) “as principais finalidades da digestão anaeróbica são a remoção da carga orgânica poluente, redução dos microrganismos patogênicos, produção de biogás e produção de biofertilizante mais estável”. Segundo ele esse processo biológico envolve uma

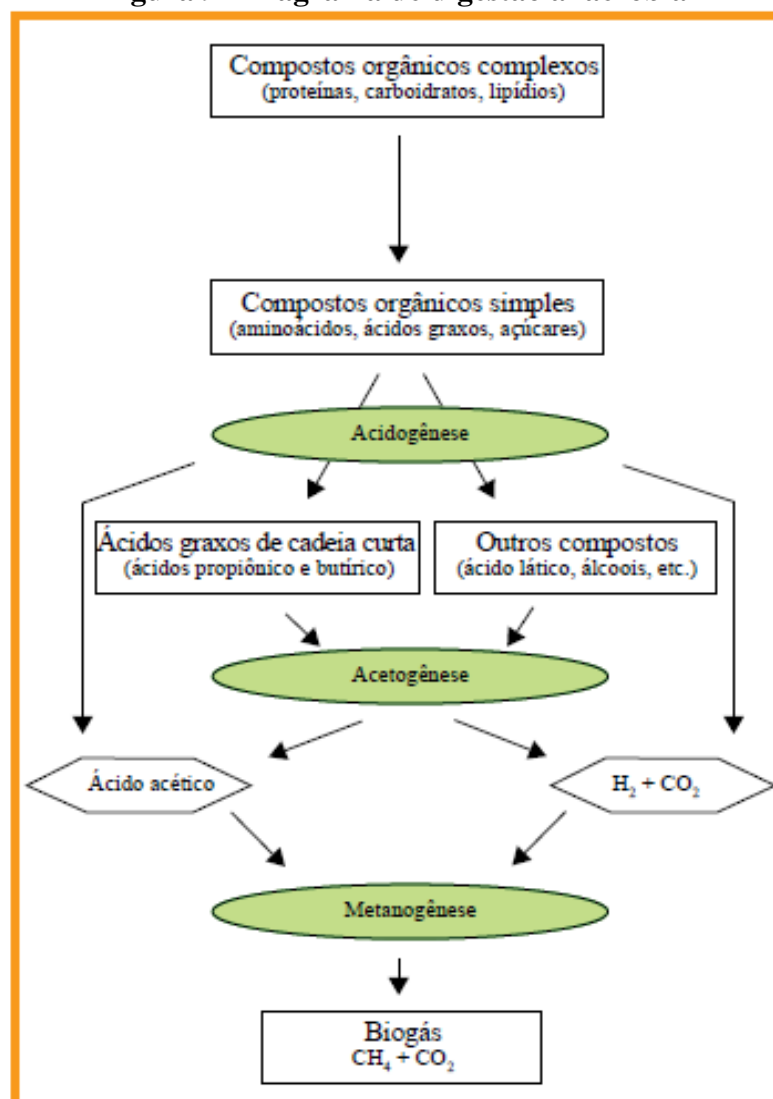
fermentação simples que ocorre em diferentes fases e por diferentes tipos de microrganismos, como as bactérias hidrolíticas, acidogênicas, acetogênicas e metanogênicas.

Costa (2012) afirma que a digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo composto por várias reações sequenciais e processadas cada qual com uma população de microrganismos específicos. Para que a atuação de bactérias degrade a matéria orgânica alguns estágios podem assim ser definidos por Costa (2012), sendo classificados em quatro estágios compreendidos como:

- A. Hidrolítica - na quais materiais orgânicos complexos insolúveis são hidrolisados e convertidos em moléculas solúveis e menores por meio da fermentação, como a glicose, aminoácidos e ácidos graxos;
- B. Acidogênese - atuam logo na sequência da hidrólise em que as moléculas menores resultantes desse processo são metabolizadas por bactérias e convertidas em diversos compostos simples, nessa fase estão os ácidos orgânicos álcoois e cetonas;
- C. Acetogênese - no qual bactérias acetogênicas convertem os produtos da acidogênese, composto intermediário, em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato;
- D. Metanogênese – última etapa em que por meio das arqueas metanogênicas convertem os substratos como, acetatos, hidrogênio e dióxido de carbono em um composto chamado metano.

Assim, na figura 9 é representado o esquema geral processo de digestão anaeróbia que segundo Reis (2012) é composta por diversas etapas de processo bioquímico complexo, composta de várias reações sequenciais, cada uma com determinadas populações microbianas distintas, tendo como última etapa da digestão a formação do metano.

Figura 9 - Diagrama de digestão anaeróbia



Fonte: Rohstoffe, 2013

A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico balanceado onde cada microrganismo tem uma função essencial. Gaspar (2003) acrescenta que o processo de decomposição da matéria orgânica em contato com o oxigênio produz dióxido de carbono, enquanto que na sua ausência é produzido o gás metano, e que qualquer falha na vedação do biodigestor poderá inviabilizar a produção do biogás.

Comastri Filho (p. 13, 1981) defende que “dentre todas as fases, a metanogênica é a mais sensível e exigente, requerendo vários cuidados para que ela se processe adequadamente, proporcionando uma alta produção de gás”. Vários fatores como a quantidade de matéria seca, concentração de nutrientes, pH, temperatura e outros são mencionados pelo mesmo autor como fatores que influenciam na atividade de bactérias metanogênicas.

Inoue (2008) também destaca que a degradação anaeróbia é influenciada por vários fatores ambientais que podem interferir na eficiência do processo. “Quanto melhor for a digestão por parte das bactérias produtoras de metano, melhor será a qualidade do biogás produzido” (KARLSSON, ET AL. p. 9, 2014). Para que isso ocorra, Gaspar (2003) destaca que essa produção seja satisfatória alguns critérios essenciais para a sustentação da vida microbiana devem ser atendidos, como pH, temperatura e outros demais fatores.

2.3.1 Fatores que influenciam na digestão anaeróbia

Segundo Oliveira (2009) o processo de digestão anaeróbia pode ser afetado seriamente por diversos fatores relacionados ao substrato, as características do digestor ou ainda com relação às condições de manipulação do equipamento.

A quantidade de matéria seca é um fator preponderante para a produção satisfatória de metano, que de acordo com Oliveira (2009), sua concentração deve ser de 7 a 9% para digestores contínuos e de até 25% para digestores do tipo batelada. Para Secchi (2014) quanto maior a concentração de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás.

De acordo com Reis (2012) a água é um fator imprescindível para o processo de digestão anaeróbia, servindo como o substrato e fornecimento de nutrientes necessários aos microrganismos, além de ser agente condutor de enzimas e de outros metabólitos microbianos importantes no processo de decomposição.

Oliveira (2009) também descreve que a concentração de nutrientes presentes na biomassa, assim como o controle e conhecimento da composição química, dosagem de nutrientes e ativadores químicos podem ser necessários para que ocorra uma boa fermentação. Alguns macronutrientes como carbono, potássio, fósforo e enxofre, e alguns micronutrientes minerais e vitaminas e aminoácidos são indispensáveis para o desenvolvimento de microrganismos, como os metanogênicos. Para Gaspar (2003) os nutrientes mais importantes para a vida dos microrganismos são o carbono, o nitrogênio e alguns sais orgânicos.

Para Comastri Filho (1981) mudanças no pH do meio afetam sensivelmente as bactérias envolvidas no processo de digestão, para tanto existe uma faixa ideal de operação de acidez ou alcalinidade (pH) da mistura no interior do biodigestor, que segundo ele como também por Oliveira (2009) esse valor está entre pH 6,0 e 8,0, tendo como ponto ótimo pH 7,0. Valores abaixo ou acima dessa faixa levam a queda ou até a paralisação da produção do

biogás (OLIVEIRA, 2009). Ainda, Reis (2012) acrescenta que cada microrganismo possui uma faixa específica de pH onde o seu crescimento é favorável, tendo que, no valor considerado ótimo, sua taxa de crescimento é máxima.

Indubitavelmente para Gaspar (2003) e Reis (2012) a temperatura na qual se encontra o substrato no interior da câmara afeta significativamente a produção de biogás, pois, afeta os processos biológicos de diversas maneiras, como, na destruição de microrganismos metanogênicos, extremamente sensíveis às alterações de temperatura.

Também Oliveira (2009) salienta que a temperatura interna do biodigestor influencia diretamente no seu processo de fermentação, podendo acelerar e consequentemente diminuir o tempo de retenção da massa no interior do tanque. Também descreve que a porcentagem de metano produzido é maior quando o processo ocorre em temperaturas mais elevadas, garantindo um maior poder calorífico à mistura como também economia de material na construção devido o maior rendimento da biomassa.

Para o mesmo autor é imprescindível manter a temperatura constante dentro do reator, devido à sensibilidade a variações bruscas de temperatura de algumas bactérias. Quando o processo de digestão e gaseificação atua a uma temperatura em torno de 35 e 37°C a atividade de fermentação é acelerada e quando atua em temperaturas inferiores, como 15°C a produção de gás é muito reduzida podendo até ser cessada.

Para o sucesso da digestão anaeróbica também deve ser levado em conta o período de detenção hidráulica do material. Este se refere ao tempo que o material permanece no interior do biodigestor e varia de acordo com diferentes substratos (OLIVEIRA, 2009). Para Comastri Filho (1981) é o tempo entre a entrada e a saída dos diferentes materiais do digestor afirmando também uma variação em função do tipo de biomassa, granulometria, temperatura do digestor, pH e outros, mas que em geral situa-se na faixa de 4 a 60 dias, em acordo com o destacado por Oliveira (2009) e que para esterco de animais domésticos situa-se na faixa de 20 a 30 dias.

Comastri Filho (1981) destaca que o conhecimento da concentração de sólidos voláteis da biomassa é essencial, pois eles é que serão fermentados para produzir o biogás, assim, quanto maior a concentração de sólidos voláteis de uma biomassa, maior será a produção de gás, dentro de certos limites, pois dependerá da eficiência do sistema digestor. O autor ainda recomenda um mínimo de 120 g de sólidos voláteis por Kg de matéria seca e destaca que o teor de sólidos voláteis de esterco bovino está em torno de 80 a 85%.

Outro fator relacionado ao processo biológico de acordo com Oliveira (2009) é a relação carbono e nitrogênio, que para uma digestão ótima essa relação deve se situar entre 20 a 30:1, ou seja, de 20 a 30 partes de carbono para uma parte de nitrogênio. Essa relação também é confirmada por Comastri Filho (1981) e destaca que esses valores podem ser corrigidos por meio da adição de resíduos vegetais como, palhas, sabugos, serragem entre outros, para que se consiga atingir o ponto ideal.

Secchi (2014) também aponta que a impermeabilidade ao ar é um fator essencial, visto que, as bactérias metanogênicas não precisam de oxigênio para sobreviver e que durante o processo de decomposição do material orgânico na presença de ar irá obter apenas a produção de dióxido de carbono.

Rohstoffe (2013) descreve que durante a digestão, são originadas diversas substâncias que podem inibir o processo de fermentação anaeróbia, contanto, vale lembrar, que as bactérias possuem uma alta capacidade adaptativa e, logo dificilmente pode-se considerar limites de concentração tóxicos como absolutos e válidos em qualquer situação. Dessa forma, o efeito inibitório das diferentes substâncias depende de diversos fatores e concentrações, conforme apresenta a quadro 6.

Quadro 6 - Inibidores e sua concentração tóxica em processos de digestão anaeróbia

Inibidor	Concentração de inibição	Observação
Oxigênio	> 0,1 mg/l	Inibição das arqueas metanogênicas anaeróbias obrigatórias.
Sulfeto de hidrogênio	> 50mg/l H ₂ S	Quanto menor o pH, maior o efeito inibitório.
Ácidos graxos voláteis	> 2.000 mg/l HAc (pH = 7,0)	Quanto menor o pH, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das bactérias.
Nitrogênio amoniacal	> 3.500 mg/l NH ₃ * (pH = 7,0)	Quanto maiores o pH e a temperatura, maior o efeito inibitório. Alta adaptabilidade das bactérias.
Metais pesados	Cu > 50 mg/l Zn > 150 mg/l Cr > 100mg/l	Só metais dissolvidos apresentam efeito inibidor. Descontaminação pela precipitação de sulfeto.
Desinfetantes antibióticos	N.E.	Efeito inibitório varia com o composto.

Fonte: Rohstoffe, 2013

Oliveira (2009) também destaca a importância de se tomar cuidado com a presença de substâncias tóxicas que podem entrar no biodigestor. Materiais derivados de petróleo,

bactericidas e desinfetantes podem contaminar o substrato e ser fatal para as bactérias envolvidas no processo. Com isso, atividades frigoríficas referentes à lavagem de utensílios, dependências e caminhões, não devem ser introduzidas no tanque de digestão por conter materiais detergentes, desinfetantes e derivados de petróleo.

Logo, nota-se que são imprescindíveis os cuidados para que determinados elementos não sejam lançados no tanque de digestão e que seu controle pode ser evitado de diversas formas. Um estudo criterioso da alimentação de animais pode contribuir para evitar elementos indesejáveis nos dejetos animais e ainda contribuir para a formação de um material orgânico potencialmente produtor de metano durante o processo digestório.

2.4 O combustível do biodigestor: a biomassa

De acordo com a Companhia Energética de Minas Gerais (2012) a biomassa abrange todo material sólido originado de seres vivos, exceto combustíveis fósseis, e é uma importante fonte de energia para a humanidade que com o tempo passou a ter uso diversificado de matéria-prima na produção de energia. O tratamento adequado desse material pode gerar combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Segundo a mesma Companhia, os principais representantes derivado desse material são o etanol, o biodiesel e o biobutanol, que têm como vantagem sobre os combustíveis fósseis o fato de serem renováveis e terem baixos índices de emissões atmosféricas; e desvantagens, de exigir grande área para o plantio da matéria-prima.

Segundo Gaspar (2003) e Barichello (2010) biomassa é qualquer material passível de ser decomposto por ação biológica de diferentes tipos de bactérias e existe em quantidades abundantes em todos os lugares seja nas cidades, campos ou regiões litorâneas.

Para Barichello (2010) todo material orgânico que pode ser aproveitado como fonte de energia como, lenha, carvão, óleos vegetais, cana-de-açúcar, beterraba, lixo, dejetos orgânicos, entre outros. São chamados de biomassa, pois atua num processo cíclico de maneira renovável.

Secchi (2014) descreve que a biomassa representa todo o recurso renovável obtido da matéria orgânica, vegetal ou animal, que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Sua origem pode ser de origem florestal, agrícola e rejeitos urbanos e industriais.

A decomposição do material sob ação de bactéria metanogênicas produz o biogás, um combustível produzido pelo processo de fermentação anaeróbia da biomassa, que pode ser obtido em menor ou maior quantidade em virtude de diversos fatores como, pH, temperatura, entre outros, fatores já descritos nos tópicos anteriores (GASPAR, 2003).

De acordo com Oliveira (2009) cada matéria-prima ou resíduo é devidamente equilibrada com a adição de água e cada qual terá um potencial de geração de gás. Resíduos altamente fibrosos apresentam um potencial mais reduzido de produção enquanto materiais ricos em amido, proteína, celulose e carboidratos apresentam maior potencial de produção. No quadro 7 são apresentadas algumas fontes de biomassa que podem ser usadas para obtenção do biogás.

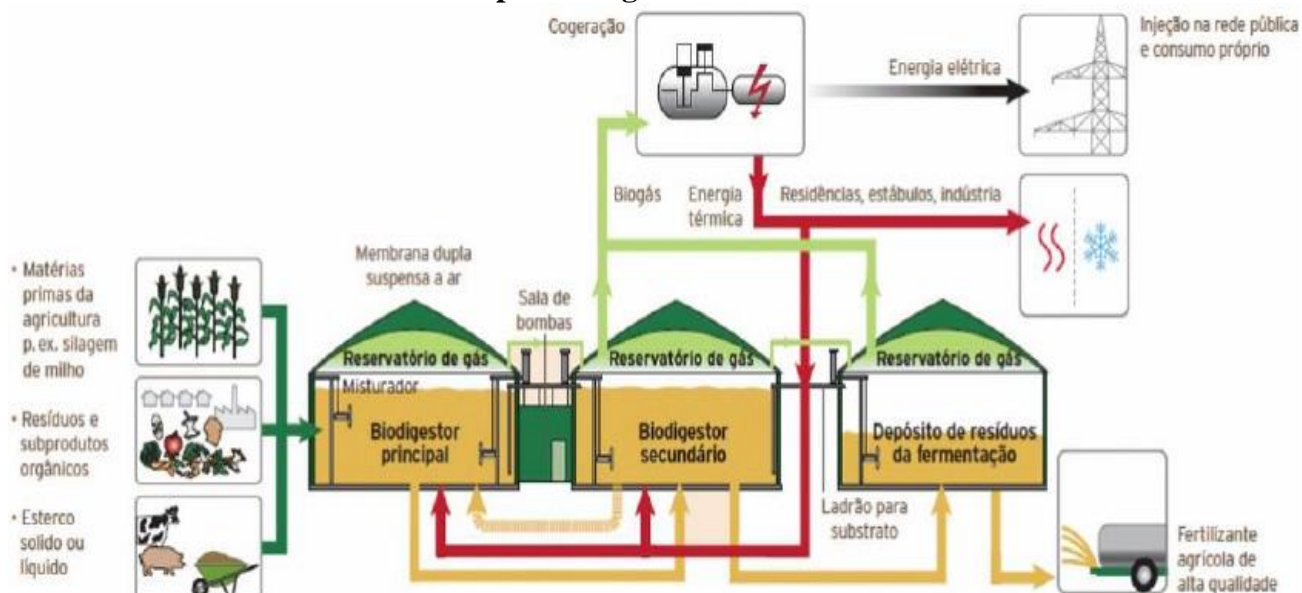
Quadro 7 - Matérias-primas: fontes de resíduos

Algumas matérias-primas: fontes de resíduo
Fezes de suínos
Papel e jornais
Sobras de comida
Fezes de aves
Soro de queijo
Resíduos de grãos
Capins
Resíduos de cervejaria
Fezes de bovinos
Resíduos de abatedouro
Fezes de coelho
Lixo urbano, esgoto.

Fonte: Oliveira, 2009

Segundo Secchi (2014) o insumo utilizado para a fermentação anaeróbia é dividido em três seções, entres elas, as matérias primas da agricultura como, silagem de milho; resíduos e subprodutos orgânicos; e ainda esterco sólido ou líquido. Para esboço, na figura 10 é apresentado uma planta geradora de energia elétrica, calor e frio a partir do biogás produzido por distintas formas de biomassa.

Figura 10 - Planta geradora de energia elétrica, calor e frio a partir do biogás gerado por biodigestores



Fonte: Secchi, 2014

Comastri Filho (p. 23, 1981) aponta que todos os materiais de origem orgânica podem servir como substratos para um biodigestor, com exceção a madeira. Segundo ele, “substâncias fibrosas como palha, grama, etc., podem formar uma camada flutuante dentro do digestor e parar a produção de gás. Por essa razão devem ser trituradas em pedaços de menos de 3 cm”.

Cada matéria prima ou fonte de resíduo possui um potencial diversificado de geração de biogás. Para tanto, tendo interesse na instalação de um biodigestor para uso do biogás, proveniente do processo de fermentação, deve-se analisar quais fontes de matéria-prima disponíveis para introduzir no reservatório, assim como, qual a necessidade de produção que deve ser obtida desse gás.

2.5 O Biogás

De acordo com Oliveira (2009) o biogás foi descoberto por Alessandro Volta no século XVII que começou a ser produzido em larga escala pela China e Índia por meio de biodigestores a fim de atender as necessidades energéticas da zona rural. O autor acrescenta que ao contrário de outras fontes de energia, esse gás não compete por espaço com outras culturas, e assim não coloca em risco a produção de alimentos.

Segundo Zilotti (2012) o interesse do Brasil pelo biogás foi intensificado nas décadas de 70 e 80 em que programas oficiais estimularam a implantação de biodigestores com foco na geração de energia, produção de biofertilizantes e redução do impacto ambiental, visando com isso diminuir a dependência de pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos, fontes de energia, poluição e ainda aumento de renda para os produtores.

Oliver (p. 9, 2008) destaca que o abandono das iniciativas de divulgação da tecnologia de biodigestão está relacionado com a combinação de fatores técnicos, humanos e econômicos. A falta de ênfase sobre os benefícios do biofertilizante, cujo valor na produtividade agropecuária é tão importante quanto às vantagens do biogás, foi um dos motivos que dificultou a difusão da tecnologia como também, a adaptabilidade dos modelos implantados, capacitação dos usuários e ausência de assistência técnica aos produtores.

Para Bley Jr. (2015) o maior desafio na gestão do biogás é que ele ainda é visto como um produto triplamente invisível. Primeiro invisível quimicamente, por ser um gás e logo intangível; segundo economicamente, pois as atividades que geram o biogás não o incorporam, logo não valorizam seus resíduos; e terceiro politicamente, pois o plano energético nacional ainda não enxerga a energia gerada pelo biogás na perspectiva de participação da matriz energética. Com isso pode ser destacado na tabela 2 algumas poucas usinas encontradas no Brasil em que se utiliza do biogás para geração de energia.

Tabela 2 - Usinas de biogás em operação no Brasil

USINA	Potência (kW)	Proprietário	Estado
Bandeirante	20.000	70% Energia S/A e 30% União de Bancos Brasileiros S.A.	SP
São João Biogás	21.560	São João Energia Ambiental S.A	SP
Energ-Biog	30	Biomass Users Network do Brasil	SP
Unidade Industrial de Aves	160	Cooperativa Agroindustrial Lar	PR
Unidade Industrial de Vegetais	40	Cooperativa Agroindustrial Lar	PR
ETE Ouro Verde	20	Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar	PR
Granja Colombari	32	José Carlos Colombari	PR
Asja BH	430	Consórcio Horizontal Asja	MG
Arrudas	2.400	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	MG
TOTAL: 9 Usinas		POTÊNCIA TOTAL: 44.672 kW	

Fonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 2012

Porém, Barichello (2010) destaca que o conhecimento do processo de digestão anaeróbia vem contribuindo para o crescente interesse pelo uso tecnológico de biodigestores a fim de converter a maior parte de carga poluente do efluente em biogás, reconhecidamente visto como fonte de energia renovável.

Para Costa (2012) e Junqueira (2014) o biogás é visto como uma mistura gasosa combustível produzida pela digestão anaeróbia através do processo fermentativo, com o intuito de remover a matéria orgânica e que junto com o biofertilizante é um excelente subproduto para a geração de valor.

Deganutti et al. (2002) e Gaspar (2003) afirmam que o biogás tem formação comum na natureza encontrado em locais onde a celulose sofre uma decomposição natural e que em condições adequadas de umidade sofre o processo de digestão anaeróbica. Neste processo, o produto resultante da fermentação anaeróbia, é formado basicamente por uma mistura de gases contendo principalmente metano, dióxido de carbono e proporções menores de gás sulfídrico e nitrogênio.

A formação do biogás ocorre de forma espontânea em diversos ambientes na natureza, principalmente em áreas onde as concentrações de oxigênio são baixas, como pântanos e lamas, como também a partir da fermentação de diversos resíduos orgânicos como esterco de animais, resíduos agrícolas, lixo urbano, efluentes industriais, entre outros (JUNQUEIRA, 2014 e ROHSTOFFE, 2013).

Segundo Barichello (2010) o biogás é um composto inflamável devido ter em sua composição o metano - mais leve que o ar, sem cor e odor. Apresenta um odor discreto devido à presença do dióxido de enxofre, com odor semelhante ao de ovo podre e também corrosivo que segundo Oliveira (2009) após a queima do gás esse odor desaparece e também com um mínimo de poluição destaca Comastri Filho (1981).

O biogás é um subproduto do processo da biodigestão e atinge somente de 4 a 7% do peso da matéria orgânica inicial utilizada. É resultado da fermentação do material orgânico presente em dejetos animais, resíduos vegetais, lixo orgânico, efluentes industriais, restos frigoríficos, lodo de esgoto, entre outros, em condições adequadas para sua produção (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Oliveira (2009) a porcentagem dos gases que constituem o biogás irá depender do material utilizado para a decomposição, assim como da eficiência do biodigestor. Também, Gaspar (2003) e Zilotti (2012) destacam que naturalmente, a composição do mesmo variará de acordo com o tipo e quantidade de biomassa empregada, no entanto, os fatores

climáticos, como pressão, temperatura, umidade e as dimensões do biodigestor, entre outros, também influenciará o processo, no entanto, a composição básica do gás não deverá variar significativamente.

Para Gaspar (2003) quando esses fatores que influenciam a vida dos microrganismos são favoráveis ao seu desenvolvimento, o biogás obtido será composto de uma mistura de gases em concentrações cerca de 60 ou 65% do volume total de metano e o restante de 35 ou 40% de gás carbônico e resquícios de outros gases. Para Bley Jr. (2015) o composto gasoso é constituído de em média 59% de metano, 40% gás carbônico e de 1% de traços de gases como o sulfídrico. No quadro 8 mostra a composição média do biogás defendida por Rohstoffe (2013).

Quadro 8 - Composição média do biogás

Componente	Concentração
Metano (CH ₄)	50% - 75% em vol.
Dióxido de carbono (CO ₂)	25% - 45% em vol.
Água (H ₂ O)	2% - 7% em vol. (20 - 40°C)
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	20 - 20.000 ppm
Nitrogênio (N ₂)	< 2% em vol.
Oxigênio (O ₂)	< 2% em vol.
Hidrogênio (H ₂)	< 1% em vol.

Fonte: Rohstoffe, 2013

Em contrapartida, Oliveira (2009) apresenta que a porcentagem dos gases constituintes representa algo entre 40 a 80% do volume de metano, 20 a 60% de gás carbônico, 0,5 a 3% de nitrogênio, 1 a 10% de hidrogênio, 0,1% de monóxido de carbono, 1% de oxigênio e traços de gás sulfídrico. Já Deganutti (2002) afirma que o componente principal do gás, o metano, representa algo entre 60 a 80% na composição da mistura e que de acordo com Comastri Filho (p. 9, 1981) “a qualidade do biogás é uma função da percentagem de metano da mistura. Quanto maior for a percentagem de metano, melhor será o biogás.”

Como pode ser observado em todas as citações o gás metano é o principal componente do biogás e tem como principal característica a alta combustão que durante a queima apresenta coloração azul-lilás, não produz fuligem, possui índice de poluição atmosférica menor que o butano (presente no gás de cozinha), e ainda incolor e inodoro (GASPAR, 2003 e DEGANUTTI, 2002). No quadro 9 são apresentadas algumas propriedades do principal componente do biogás, o metano.

Quadro 9 - Propriedades físicas e químicas do metano

Peso molecular	16,04 u.m.a.
Ponto de ebulição, a 1 atm.	-161,49°C
Ponto de congelamento, a 1 atm.	-182,48°C
Pressão crítica	45,84 atm.
Temperatura crítica	-82,50°C
Peso específico (0° e 1 atm.)	0,718 kg/m ³
Poder calorífico superior (0° e 1 atm.)	9.520 kcal/m ³
Poder calorífico inferior (0° e 1 atm.)	8.550 kcal/m ³
Relação ar/combustível	9,53 litros/1 litro
Limites de inflamabilidade	5 a 15% em vol.
Número de octanos	130
Temperatura de ignição	650°C
Energia para ignição	300μJ
Velocidade de chama	0,40 m/s

Fonte: Oliveira, 2009

Em consequência ao alto teor de metano na composição da mistura gasosa do biogás o poder calorífico do mesmo varia de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico, podendo chegar a 12.000 kcal/m³ quando eliminado todo o gás carbônico existente na composição, sendo considerado um excelente gerador de energia térmica e motores de explosão (OLIVEIRA, 2009 e DEGANUTTI, 2002).

Zilotti (2012) destaca que o metano é um gás 21 vezes mais poluente que o dióxido de carbono, que se lançado diretamente na atmosfera contribui substancialmente para o agravamento do efeito estufa, e a fim de diminuir o impacto causado, também confirmado por Costa (2012) o armazenamento e posterior queima deste gás, o mesmo é convertido em dióxido de carbono, gerando menor impacto a camada de ozônio e créditos de carbono que podem ser vendidos.

Segundo Roy (2011) as vantagens de utilizar o biogás como fonte energética apresenta-se sob diversas formas, sendo que do ponto de vista ambiental, seu uso é defendido em virtude do mesmo ser menos poluente a atmosfera, desacelerando o processo de aquecimento global e ainda em substituição da lenha auxilia no combate ao desmatamento; do ponto de vista agrícola, contribui para a substituição dos derivados combustíveis a base de petróleo, utilização de resíduos para adubos orgânicos - biofertilizante, redução de emissões

de fumaça; do ponto de vista sanitário, os dejetos de humanos ou animais seriam coletados e armazenados em biodigestores o que diminuiria o foco de microrganismos patogênicos.

Com isso, deve-se notar que de acordo com Bley Jr. (2015) o biogás resulta em duas significativas vantagens, uma direta, ligada ao fator gerador de energia, tanto térmica, elétrica e automotiva podendo ser vendido o excedente; e outra indireta, pelo fato de reduzir as emissões de gases do efeito estufa, minimizando o processo de aquecimento global.

2.5.1 Estimativa da produção de biogás

Segundo Costa (pg. 23, 2012) “o volume de biogás produzido por unidade de peso de matéria orgânica é variável, e depende de diversos fatores como temperatura, alimentação, manejo, tipo de biodigestor e, fundamentalmente, tipo de material orgânico empregado”.

De acordo com Gaspar (2003) observações de técnicos e associações de criadores de animais, concluíram que um animal qualquer produz, em média, em torno de 19 gramas de dejetos por cada quilo de peso do animal, durante um período de 24 horas. Sendo assim, com base nos dados obtidos, para os cálculos de produção média de esterco, utiliza-se do produto entre o peso do animal vivo por 0,019.

Para melhor exemplificar, considerando um bovino com peso de 500 kg, multiplicando por 0,019, este resultará numa produção média de 10 kg de esterco por dia. Essa produção média diária de dejetos de um animal adulto pode ser observada no quadro 10, de acordo com os apontamentos feitos por Gaspar (2003) como também Farret (2010).

Quadro 10 - Produção diária de dejetos por animal adulto

Tipo de animal	Média de produção de dejetos (Kg/dia)	
	Gaspar (2003)	Farret (2010)
Bovino	10,00	10,00
Suíno	2,25	2,25
Galinha	0,18	-
Ovino	2,80	0,77
Equino	10,00	6,50
Outras aves	-	0,09

Fonte: Gaspar, 2003 e Farret, 2010

Gaspar (2003) destaca que os dejetos de bovinos proporcionam rápida proliferação de bactérias metanogênicas com uma consequente produção de biogás em menor espaço de tempo quando comparado aos dejetos de outros animais e ainda salienta que, de longe, são os que apresentam maior capacidade de produção de biogás, como mostra o quadro 11 onde destaca a produção de biogás por biomassa de material concentrado.

Quadro 11 - Expectativa de produção de biogás por biomassa

Biomassa utilizada (dejetos)	Produção de biogás (a partir de material seco em m ³ /t)	Percentual de gás metano produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Fonte: Gaspar, 2003

Diante do exposto, pode ser verificado que cada biomassa produz quantidades diferentes de biogás, bem como de concentrações de metano. Também pode ser destacado que os dejetos suínos são a biomassa com melhor rendimento de biogás por tonelada, cerca de 560 m³, como também ótimo nível de gás metano com 50%. No quadro 12 será destacado ainda a capacidade de geração de 1m³ de biogás utilizando de diversas fontes orgânicas.

Quadro 12 - Potencial de produção de biogás

Biomassa	m ³ de biogás / kg dejetos		
	Oliver, 2008	Barrera, 2003	Jorge, 2004
Caprino/ovino	0,040 - 0,061	-	-
Bovinos de leite	0,040 - 0,049	0,04	0,04
Bovinos de corte	0,04	0,04	0,04
Suínos	0,075 - 0,089	0,083	0,083
Frangos de corte	0,09	-	-
Esterco seco de galinha	-	0,2	0,2
Poedeiras	0,1	-	-
Codornas	0,049	-	-
Plantas ou casca de cereais	-	0,04	0,04
Lixo orgânico	-	0,05	0,05

Fonte: Oliver (2008), Barrera (2003) e Jorge (2004)

Sendo assim, examinando os dados do quadro é visível que utilizando dos dejetos bovinos como matéria-prima, para produção de 1m^3 de biogás serão necessários 25 kg de dejetos. Assim sendo, se um bovino produz cerca de 10 kg de dejetos por dia, conforme destacado no quadro 10, serão necessários aproximadamente três animais para a geração desse quantitativo, com consequente produção ainda superior a 1m^3 de biogás (GASPAR, 2003).

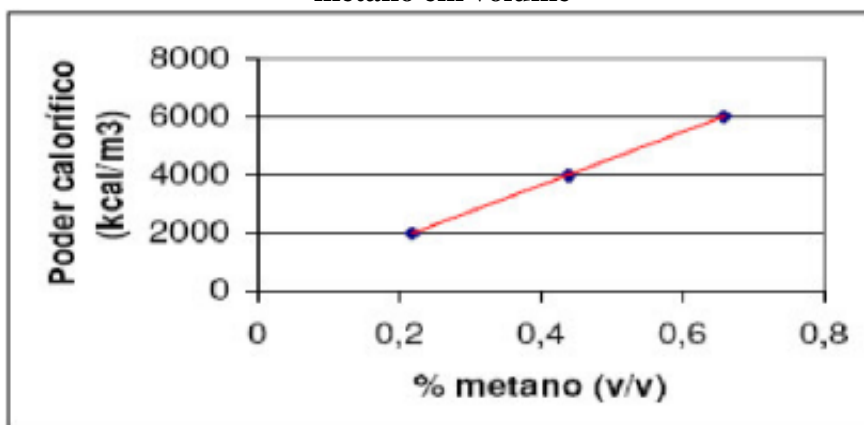
2.5.2 Poder Calorífico

De acordo com Secchi (2014) o principal componente do biogás é o metano e à medida que se eleva a concentração de impurezas não combustíveis no gás, como água e dióxido de carbono, estes entram com o combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada, tornando a produção menos eficiente.

Com isso, já destacado e reafirmado por Comastri Filho (p. 19, 1981) a quantidade de metano existente no biogás regula o poder calorífico do biogás que, normalmente, situa-se entre 5.000 a 6.000 kcal/m^3 em função da sua pureza. Quanto mais puro, maior é o seu poder calorífico e pode ser obtido pela retirada de CO_2 , que se faz forçando a passagem do biogás através de uma coluna de água de cal antes do ponto de utilização, dobrando seu poder calorífico.

Na figura 11 Secchi (2014) mostra a relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano existente na mistura, e verifica que quanto maior a quantidade de metano mais rico é o biogás.

Figura 11 - Gráfico de relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume



Fonte: Secchi, 2014

Para Zilotti (2012) o poder calorífico é definido como a quantidade de energia disponível durante o processo de combustão por unidade de massa ou volume de um combustível. Já Oliveira (2009), saliente que essa propriedade representa a quantidade de energia liberada no processo de combustão completa de uma unidade de massa.

Também conhecido como o poder de queima ou calor de combustão, o poder calorífico é representado por kJ/kg e medido utilizando uma bomba calorimétrica ou calorímetro (OLIVEIRA, 2009). No quadro 13 pode ser observado o poder calorífico de alguns combustíveis de destaque.

Quadro 13 - Poder Calorífico de alguns combustíveis

Combustível	kcal
Madeira	4.500/kg
Briquetes de carvão	8.000/kg
Carvão vegetal	7.620/kg
Diesel	8.500/litro
Gasolina	7.700/litro
Querosene	8.800/litro
BPF (óleo combustível)	8.400/kg
BTE (óleo combustível)	10.400/kg
Álcool etílico 96° GL	5.100/litro ou 6.400/kg
Gasogênio	1.250/m ³
GLP (gás liquefeito de petróleo)	11.000/kg

Fonte: Oliveira, 2009

Segundo Oliveira (2009) o biogás possui um poder calorífico entre 4,95 e 7,92 kWh/m³ dependendo da porcentagem de metano presente na mistura, de 50 e 80% respectivamente.

Em virtude das diferenças caloríficas das diversas fontes energéticas encontradas na natureza e o interesse em mostrar a comparação desses materiais em relação ao biogás, no quadro 14 será apresentada essas equivalências.

Quadro 14 - Comparação entre diferentes fontes energéticas e o biogás

Biogás (m ³)	Fonte energética	Equivalências		
		Litro (l)	kg	kWh
1,63	Gasolina	1,00		
1,80	Óleo diesel	1,00		
1,73	Querosene	1,00		
1,58	Gasolina de avião	1,00		
2,00	Óleo combustível	1,00		
1,81	Petróleo médio	1,00		
1,26	Álcool combustível	1,00		
2,20	GLP		1,00	
0,65	Lenha		1,00	
1,36	Carvão vegetal		1,00	
0,29	Xisto		1,00	
0,70	Energia elétrica			1,00

Fonte: Comastri Filho, 1981

No entanto, nota-se que pequenas divergências são passíveis de serem observadas em diversas referências devido às diferenças na produção do gás em consequência dos distintos modelos de biodigestores, manuseio do mesmo, clima, entre outros fatores. Diante disso, no quadro 15 mostra as divergências encontradas em relação à equivalência dos combustíveis.

Quadro 15 - Equivalência energética do biogás (1 m³) comparada a outros combustíveis

Energético	Ferraz e Mariel (1980)	Sganzerla (1983)	Nogueira (1986)	Barrera (2003)
Gasolina (l)	0,61	0,61	0,61	0,61
Querosene (l)	0,58	0,58	0,62	0,58
Diesel (L)	0,55	0,55	0,55	0,55
GLP (kg)	0,45	0,45	0,43	0,45
Álcool (l)	-	0,79	0,8	0,79
Carvão mineral (kg)	-	0,74	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,52	3,5	1,54
Eletricidade (kWh)	1,43	1,43	-	1,43

Fonte: Oliveira, 2009

Em virtude das equivalências energéticas, para Gaspar (2003) um fato a ser analisado é que o custo relativo a um metro cúbico de biogás é mínimo, pois oriundo de uma correta

instalação e operação de biodigestores custa menos ao produtor devido à matéria-prima utilizada representar um custo normal que o criador tem em manter o animal vivo e saudável, visto também num sistema organizacional, o que nota a vantagem de utilizar esse sistema.

Segundo Oliveira (2009) o gás obtido poderá passar por alguns tratamentos a fim de que aumente seu poder calorífico, seu rendimento térmico e ainda elimine sua corrosividade. Dependendo de qual será a aplicação do gás produzido, será necessário um processo de purificação visando à retirada da água, do gás carbônico e/ou do gás sulfídrico presentes na mistura. Uma das vantagens apontadas pelo autor é que após a purificação, esse gás pode ser armazenado em tanques de aço para a utilização em veículos, entre outras funcionalidades.

2.5.3 Aplicação do biogás

Comastri Filho (1981) afirma que o biogás por apresentar alta percentagem de metano, é extremamente inflamável, por isso pode ser usado para qualquer fim que necessite de combustível, devido ao seu alto poder energético. Destaca ainda, que no meio rural é comumente utilizado, para cocção, iluminação, refrigeração, aquecimento, acionamento de motores a explosão e geração de energia elétrica, proporcionando mais conforto ao homem do campo. Já na indústria, como destilaria, fábrica de papel e outras, pode ser empregado em substituição de parte da energia consumida no processo de produção.

O biogás é uma fonte primária de energia e pode ser empregado em várias situações e sua potencialidade energética é capaz de produzir formas de energia limpa como térmica e elétrica oferecendo muitos benefícios, principalmente aos produtores rurais. Karlsson, et al. (p. 13, 2014) ainda afirma que “utilizar o biogás para produção de calor é a maneira mais fácil e barata de aproveitá-lo”.

De acordo com Gaspar (2003) o biogás pode ser usado em substituição do gás de cozinha, na alimentação de lâmpadas a gás, para o acionamento de motores para bomba d'água e moinhos, geladeira a gás, secadores de grãos, geradores de energia elétrica e inúmeros outros.

Em síntese, para melhor observar o desempenho do biogás, foi desenvolvido um estudo que segundo Gaspar (2003) mostra a relação de consumo entre os diversos equipamentos utilizados em uma residência de cinco pessoas numa propriedade rural, como mostra o quadro 16.

Quadro 16 - Relação de consumo de biogás em equipamentos

Equipamentos	Unidade	Consumo
Lampião (cada)	m ³ /h	0,14
Cozimento (5 pessoas x 0,23 m)	m ³ /h	1,15
Fogão	m ³ /dia/pessoa	0,34
Motor	m ³ /hp/h	0,45
Chuveiro	m ³ /banho de 15 mim.	0,80
Campânula para aquecer pintos	m ³ /h para 1.500 kcal	0,16
Geladeira	m ³ /dia	2,00
Incubadora	m ³ /h/100l de capacidade	0,05
Geração de eletricidade	m ³ /kW/h	0,62
Total de consumo/dia	m³	5.712

Fonte: Gaspar, 2003 apud CETEC, 1982

Oliveira (2009) ratifica as possibilidades de uso apresentadas no quadro 16 e salienta que o biogás produzido pode ser consumido tanto de forma direta, purificado ou ainda armazenado para sua posterior utilização. Existem diversas tecnologias capazes de efetuar a conversão energética do biogás, podendo ser usado na produção de calor, como em caldeiras, iluminação, combustível automotivo, turbinas a gás e motores de combustão interna.

O emprego do biogás para geração de vapor nas caldeiras em indústrias faz com que haja uma economia em óleo combustível, carvão mineral, carvão vegetal ou lenha e seu consumo se dá como apresentado no quadro 17.

Quadro 17 - Consumo de biogás por aplicação

Aplicação	Consumo
Motor a explosão	0,450 m ³ /HP/h
Iluminação	0,120 m ³ /camisa de 100 W/h
Cozimento de alimento	0,340 m ³ /pessoa/dia
Forno de assar alimento	0,420 m ³ /hora
Aquecedor de ambiente	0,277 m ³ /hora
Geladeira	1,30 m ³ /dia

Fonte: Oliveira (2009)

De acordo com Oliveira (2009) o biogás produzido pode ser utilizado como fonte primária para o fornecimento de energia mecânica em turbinas e motores que acoplados a geradores elétricos geram eletricidade podendo ser utilizada localmente ou ainda havendo excedente na geração poderá ser vendida para a concessionária de energia elétrica local.

O metano presente na composição do biogás também pode ser utilizado como matéria-prima nas indústrias para a síntese de inúmeros compostos orgânicos, tendo destaque sua

utilização para a obtenção do metanol, onde deve ser feita a retirada de parte do gás carbônico presente na mistura, ajustando-o a uma concentração de 22,6% (OLIVEIRA, 2009).

Quando o interesse de utilização desse gás se dá para o emprego como combustível veicular é necessário que se realize a purificação do mesmo. Essa técnica segundo Karlsson et al. (2014) consiste na remoção de sulfeto de hidrogênio e dióxido de carbono, a partir da dissolução dos gases H_2S e CO_2 por meio de lavagem com água pressurizada. Esse método é utilizado a fim de aumentar o poder calorífico do gás e assim a autonomia do motor, como também, com o intuito de evitar a corrosão interna do motor por ter na sua composição um ácido com característica altamente corrosiva.

Com isso, podemos afirmar que ao fim do processo de digestão anaeróbica, como já descrito, ocorre a liberação do biogás, altamente calorífico podendo ser usado em substituição energética de várias fontes não renováveis e ainda obtém-se um subproduto com grande poder nutritivo ao solo, que contribui significativamente com a redução do consumo de insumos químicos ou até aumento da renda, pela sua comercialização.

Para tanto, Bley Jr. (2015) apresenta na figura 12 um resumo de como se dá a economia em torno do biogás, destacando quais procedimentos devem ser levados em conta para que sejam obtidos resultados econômicos satisfatórios por uma empresa pelo uso da tecnologia de biodigestores.

Figura 12 - A economia do biogás: a produção, distribuição e os bens e serviços do gás



Fonte: Bley Jr., 2015

2.6 Biofertilizante

Roya et al. (2011) descreve que o biofertilizante é obtido através da metabolização da matéria orgânica dentro dos biodigestores, podendo ser usado como fertilizante agrícola de alta qualidade advinda do baixo teor de dióxido de carbono com aumento da presença de nitrogênio e demais nutrientes. O autor ainda destaca que este vem se tornando em produto estratégico para produções agropecuárias, devido aos aumentos previstos para os adubos fosfatados e para os adubos nitrogenados, que são encontrados na composição orgânica do biofertilizante justificando assim a maior atenção dos setores produtivos voltada a ele.

De acordo com Costa (2012) a composição do biofertilizante possui compostos bioativos resultantes do processo de digestão anaeróbia de compostos orgânicos de origem animal e vegetal. No subproduto são encontradas células vivas ou latentes de microrganismos onde sua qualidade se dá em função do tipo de substrato e de que maneira foi desenvolvido o processo a qual o substrato foi submetido.

Para Oliveira (p. 17, 2009) o biofertilizante “é a denominação comumente usada para designar o resíduo aquoso de natureza orgânica, que pode ser utilizado na fertilização do solo, que tem origem na fermentação de restos vegetais e animais em biodigestores com a finalidade de se obter gás metano”.

O mesmo autor destaca que durante o processo de fermentação o material orgânico transforma-se em um fertilizante isento de agentes causadores de doenças e pragas às plantas, é inodoro garantindo a inexistência de agente proliferador e causadores de doenças, como moscas, insetos e roedores.

Segundo Gaspar (2003) e Barichello (2010) logo após a produção do biogás a biomassa fermentada sai do tanque de digestão sob forma líquida contendo um rico material orgânico, denominado húmus, apresentando grande poder de fertilização. A composição desse material varia de acordo com a biomassa utilizada, porém podem ser encontrados resultados médios apresentados de acordo com o quadro 18.

Quadro 18 - Componentes do biofertilizante

Composição	Quantidade (%)
pH	7,5
Matéria orgânica	85,0
Nitrogênio	1,8
Fósforo	1,6
Potássio	1,0

Fonte: Gaspar, 2003

Para Junqueira (2014) o biofertilizante é o produto que resta da biomassa após seu processo de fermentação e apresenta em sua composição teores de nitrogênio em torno de 1,5 e 2,0%, fósforo entre 1,0 e 1,5%, e potássio entre 0,5 e 1,0%, originando um composto orgânico com alto valor qualitativo.

Gaspar (2003) salienta que esse biofertilizante, quando aplicado ao solo melhora as qualidades físicas, químicas e biológicas da área e ainda faz com que o agricultor deixe de

adquirir defensivos agrícolas que além de poluírem o solo, eliminam predadores naturais das pragas. Barichello (2010) ainda afirma a utilização desse produto proporciona a multiplicação das bactérias gerando aumento significativo na produtividade das lavouras com solo mais cheio de vida e nutritivo.

Oliveira (2009) acrescenta que o produto contribui para o restabelecimento do húmus do solo e ajuda na melhoria da atividade microbiana. O mesmo pode ser aplicado diretamente no solo tanto nas formas líquida, como desidratada em qualquer tipo de cultura, anual ou perene, gramínea ou leguminosa, frutífera ou olerícola e sua dosagem variam de 50 a 100 t/ha no estado natural e de 1 a 2 t/ha no estado seco, mas caso haja quantidade suficiente esses valores podem ser duplicados e até triplicados.

O biofertilizante funciona como agente corretor de acidez, contendo nível de pH em torno de 7,5, elimina o alumínio presente no solo e libera o fósforo presente nos sais insolúveis do alumínio de ferro elevando o pH do solo fazendo com que dificulte a multiplicação de fungos patogênicos (GASPAR, 2003).

Para tanto, destaca-se que dessa forma o subproduto oriundo do processo de digestão anaeróbia proporciona a máxima utilização de dejetos contribuindo para o processo de agregação de valor a organização.

3 METODOLOGIA

Para Barichello (p. 43, 2010) “a metodologia consiste na explicação minuciosa, detalhada, rigorosa e exata de toda ação desenvolvida no método (caminho) do trabalho de pesquisa”. Com isso, nesta seção será descrita os procedimentos utilizados para a pesquisa, a natureza das fontes utilizadas para o andamento da mesma, além dos métodos e instrumentos usados para a coleta dos dados e seu tratamento.

3.1 Tipo, método e abordagem

Levando em consideração os objetivos e os problemas apresentados durante a pesquisa, este trabalho tem como intuito apresentar os motivos pelos quais as agroindústrias localizadas no município de Cacoal/RO não utilizam da tecnologia digestora e ainda mensurar por meio de uma pesquisa de campo o quantitativo teórico de biogás produzido numa propriedade rural consorciada com uma agroindústria de queijos visando utilizar do biogás proveniente da decomposição dos dejetos como fonte de calor em substituição as fontes não renováveis de energia.

Para tanto, vários métodos e procedimentos serão utilizados visando nortear o estudo proposto e atender aos objetivos. Sendo assim, esta pesquisa é classificada quanto aos objetivos como descritiva, como também exploratória, com abordagem qualitativa e quantitativa, de natureza básica e o método a ser utilizado será o dedutivo.

A classificação dessa pesquisa como descritiva se dá em razão de descrever as principais características em torno do tema em estudo, assim como utilizar de técnicas padronizadas para a coleta de dados. Gil (2002) defende que este tipo de pesquisa tem como objetivo principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno, como também o estabelecimento de relações entre as variáveis. Mas também pode ser definida como exploratório, pois procura em sua fase inicial, entender um fenômeno, para depois, poder explicar suas causas e consequências (GIL, 2002).

A abordagem qualitativa e quantitativa advém da observação de que o estudo se preocupa com representatividade numérica das operações do setor analisado, como também, preocupa-se com o aprofundamento da compreensão e explicação da dinâmica das relações que interagem com a organização (GERHARDT & SILVEIRA, 2009).

Com relação à natureza, se enquadra numa pesquisa básica que segundo Gerhardt & Silveira (p. 34, 2009) “objetiva gerar conhecimentos novos, úteis para o avanço da Ciência, sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais”.

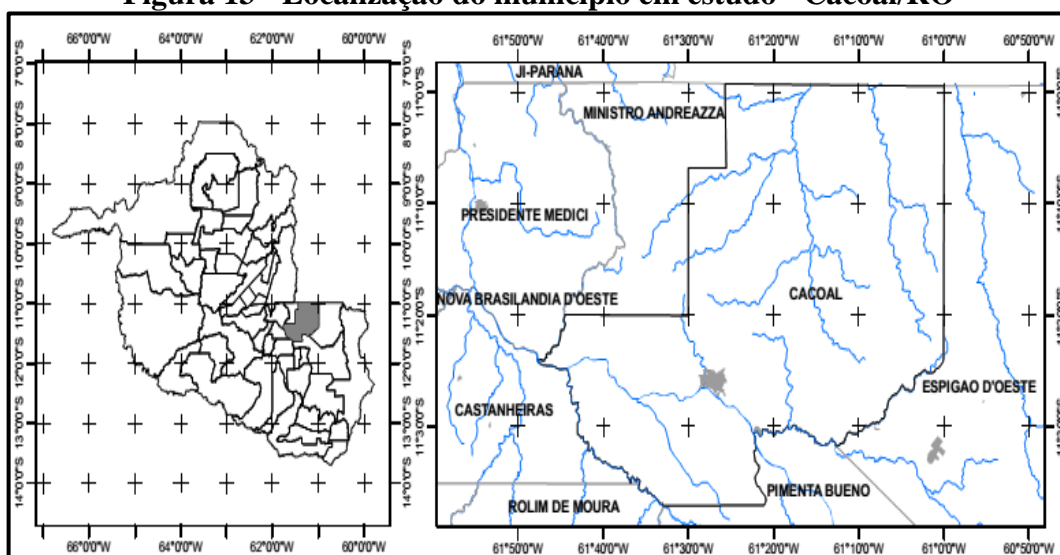
Gerhardt & Silveira (p. 25, 2009) defini o método científico como “a expressão lógica do raciocínio associada à formulação de argumentos convincentes. Esses argumentos, uma vez apresentados, têm por finalidade informar, descrever ou persuadir um fato”. O método utilizado se dá de forma dedutiva, pois segundo o autor, parte do princípio reconhecido como verdadeiro e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, em virtude de sua lógica.

Com isso, observando as técnicas expostas acima, o trabalho utiliza de procedimentos sistemáticos para a descrição e explicação dos fatos decorrentes da utilização de biodigestores.

3.2 Coleta e análise dos dados

O campo de ação dessa pesquisa foi realizado no município de Cacoal, situado na região Centro-Leste do estado de Rondônia, localizado a uma latitude $11^{\circ} 26' 19''$ sul e uma longitude $61^{\circ} 26' 50''$ oeste, a uma altitude de 200 metros. É considerada como sendo a quarta maior cidade do Estado, com aproximadamente 86.556 habitantes, em uma área que totaliza $3.792,948 \text{ km}^2$ e têm na agricultura, atividade relevante para a economia local e regional (IBGE, 2010). Na Figura 13 é apresentada a localização do município de estudo.

Figura 13 - Localização do município em estudo - Cacoal/RO



Fonte: Autora

Para realização do presente trabalho foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica acerca do referido tema para desenvolvimento da fundamentação teórica, buscando adquirir conhecimento literário, e assim formular propostas a serem discutidas e elaboradas na construção do questionário e na tomada de decisão em relação a indicação de ações necessárias para prevenir/mitigar os problemas observados.

Sendo assim, a priori foi realizado um levantamento bibliográfico para a coleta de dados, que segundo Gil (2002) corresponde a estudos desenvolvidos em material já elaborado que permite ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos mais ampla. Essa pesquisa foi feita principalmente em livros, artigos, teses, dissertações, manuais, e outros, com o objetivo de conceituar o tema em questão, como também descrever os fatores correlacionados a ele.

Para a realização do trabalho optou-se pela elaboração de um questionário com perguntas abertas e fechadas, apresentado no Apêndice A, e posterior aplicação a onze agroindústrias, correspondendo a um percentual de aproximadamente 60% do total, localizadas no município de Cacoal/RO, a fim de verificar se os mesmos possuem o conhecimento da tecnologia de biodigestão e se sim, por que não as utilizam.

As agroindústrias escolhidas foram selecionadas de forma aleatória e pela facilidade de contato, e para aplicação dos questionários, foram realizadas visitas *in loco* e/ou contato telefônico em cada propriedade. A coleta dos dados foi realizada entre os meses de abril e maio do ano de 2016.

Para Gerhardt & Silveira (2009) o questionário é um instrumento de coleta de dados constituído por uma série ordenada de perguntas podendo conter questões em aberto, em que o informante responde livremente; questões fechadas, em que o informante deve escolher uma resposta entre as constantes de uma lista predeterminada; ou ainda mistas, em que dentro de uma lista predeterminada, há um item aberto.

Segundo Gil (2002) o questionário caracteriza-se basicamente como a maneira de traduzir os objetivos específicos da pesquisa em itens bem redigidos que não apresentam normas rígidas de elaboração. Com isso, a referida técnica foi composta por questões em aberto, como também fechadas, com um número suficiente de alternativas capaz de abrigar uma ampla gama de respostas possíveis.

Na elaboração do referido questionário foi levado em consideração aspectos como, o grau de escolaridade, a atividade da agroindústria, os resíduos presente na agroindústria,

tratamento desses resíduos, conhecimento sobre biodigestor, as razões da não utilização dessa tecnologia e outros.

A obtenção desses dados teve como propósito verificar as razões pelas quais essas agroindústrias, em geral, caracterizadas pelo alto potencial de geração de biogás, não utilizam dessa fonte energética como forma de mitigar os problemas ambientais e reduzir seus custos.

Por considerar relevante simular teoricamente a relação custo-benefício a partir do quantitativo estimado de biogás produzido e suas possibilidades de uso, também foi realizado um estudo de caso, previamente autorizado pelo responsável, com registros fotográficos em toda área envolvida na pesquisa e aplicação de uma entrevista com perguntas relacionadas ao tema. A unidade escolhida foi uma agroindústria de queijos localizada numa propriedade rural na cidade de Cacoal/RO, devido ao interesse do responsável pelo tema.

Para Gil (2002) o estudo de caso representa uma maior profundidade na pesquisa de maneira que permita um amplo e detalhado conhecimento da área observada a fim de analisar diferentes propósitos. Utiliza de diversas técnicas de observações e como consequência apresenta maior flexibilidade no planejamento, podendo ocorrer mesmo que seus objetivos sejam reformulados ao longo da pesquisa.

Gerhardt & Silveira (2009) ainda afirmam que esse procedimento visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação, procurando descobrir o que há de mais essencial e característico no caso analisado e ainda revelar a percepção do pesquisador sobre o mesmo.

Durante a entrevista, foram levantados dados como: os resíduos disponíveis na localidade para serem utilizadas como biomassa para o biodigestor, quais as atividades desenvolvidas na propriedade, quantidade de animais, os custos relativos à matéria-prima, energia, e outros. Com a obtenção desses dados, foi possível verificar a necessidade energética térmica diária da propriedade e por meio da equivalência entre o gás liquefeito de petróleo – GLP e o biogás, estimar seu quantitativo a fim de suprir a necessidade.

Após a obtenção dos dados, os mesmos foram registrados e tratados por meio de gráficos, planilha eletrônica e calculadora. Com o propósito de determinar o potencial gerador de biogás, tendo como base os dados obtidos em pesquisa bibliográfica e o quantitativo de animais presentes na propriedade, a capacidade de produção diária de biogás foi determinada com base na fórmula utilizada por Oliveira (2009) adaptando-a para a seguinte equação:

$$V = (Q_{\text{bovina}} \times N_b \times F_b) + (Q_{\text{suína}} \times N_s \times F_s)$$

Sendo:

V: o volume de biogás produzido diariamente;

Q_{bovina} : a quantidade de dejetos produzida por cabeça bovina, média de 10 kg;

N_b : representa o número de bovinos;

F_b : o fator de conversão da matéria orgânica bovina em biogás, que representa 0,04 m³/kg;

$Q_{\text{suína}}$: a quantidade de dejetos produzida por cabeça suína, média de 2,25 kg;

N_s : representa o número de suínos;

F_s : o fator de conversão da matéria orgânica suína em biogás, que representa 0,083 m³/kg;

Para tanto, verificada a necessidade diária de biogás como a capacidade de geração do mesmo, com o intuito de apurar a relação custo-benefício do sistema, foi definido um modelo de biodigestor, já aplicado e recomendado por Mattos e Farias Júnior (2011). O modelo é inspirado no modelo indiano, porém adaptado à realidade local de instalação, que utiliza de materiais facilmente disponíveis em todas as lojas de construção civil e de baixo investimento.

Segundo os autores, o modelo utiliza da mesma tecnologia empregada nas cisternas de placas largamente difundidas na Região Semiárida Brasileira. Neste presente trabalho, esse modelo será designado como modelo de Biodigestor Sertanejo. Ainda, Mattos e Farias Júnior (2011) acrescentam que essa tecnologia de biodigestão se adaptou bem ao tipo de propriedade rural e no local onde foi instalado revelou-se economicamente viável.

Com isso, utilizando do modelo já testado e aprovado, foi realizada uma consulta junto às empresas fornecedoras dos materiais necessários para a construção do biodigestor e obtido os custos relativos à aquisição para cada item, assim como o custo referente a edificação, conforme é apresentado no Anexo 1.

Obtidos os custos que envolvem a implementação e manutenção da planta de biodigestão, os resultados encontrados diante do estudo de caso foram interpretados, correlacionados com as informações colhidas na revisão bibliográfica e assim calculados e analisados o custo-benefício do investimento e o tempo de retorno do capital, se investido, através de técnicas como, *Payback*.

Assim, considerando todos os custos do possível investimento, confrontando-os com os benefícios sociais, ambientais e econômicos que tal tecnologia oferece, será validada ou não a hipótese levantada.

Em relação aos aspectos éticos, as agroindústrias e em especial a que se deu o estudo de caso, foram devidamente consultadas e informadas sobre o presente trabalho de pesquisa, como também preservadas sua identidade, salvo os nomes devidamente autorizados ou mencionados na fonte de pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

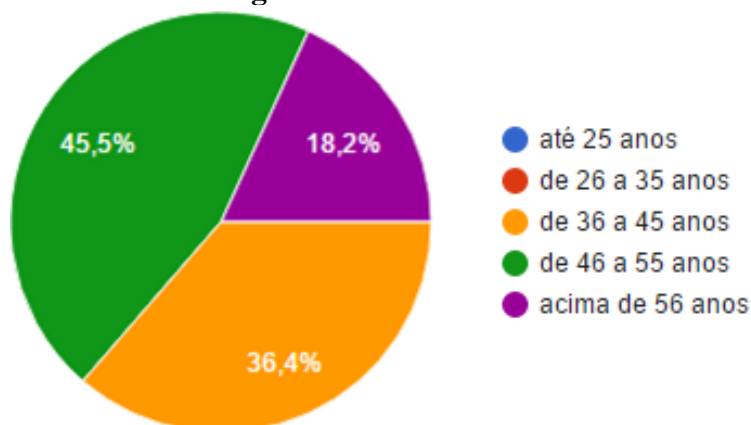
Em consulta a Empresa Estadual de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Rondônia – EMATER-RO (2016) pôde ser constatado que tanto na cidade de Cacoal quanto em todo o Estado de Rondônia não há registros de qualquer atividade que se faz uso da tecnologia de biodigestão. Então, buscando identificar os motivos pelos quais esse fato ocorre, o presente trabalho teve como priori a aplicação de um questionário junto a uma parcela de potenciais produtores de biogás.

De acordo com a Secretaria Municipal de Agricultura e Pecuária – SEMAGRI (2016) do município de Cacoal-RO verifica-se que a quantidade de propriedades rurais localizadas no município resume-se em 5.049 propriedades e o total de 19 (dezenove) agroindústrias com cadastro regular e/ou em fase regularização perante a Secretaria.

Como já mencionado, a biomassa residual oriunda das atividades agrícolas e pecuárias se destaca devido a grande quantidade de resíduos descartados diariamente nas propriedades, estes com alto potencial para geração de biogás (KARLSSON ET AL., 2014). Frente a esse potencial, as agroindústrias - atividade econômica tendo como base matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura – têm se preocupado com o acelerado aumento em seus custos de produção e manutenção, e assim muito se beneficiariam com o uso dessa fonte alternativa de energia, muitas vezes desprezada (WALKER, 2009).

Sendo assim, a aplicação do questionário foi destinada de forma aleatória a uma parcela de aproximadamente 60% do total de agroindústrias e os resultados obtidos apontaram que, referente a faixa etária dos proprietários, estes estão enquadrados em 45,5% entre 46 a 55 anos de idade, 36,4% estão entre 36 a 45 anos e 18,2% estão acima de 56 anos.

Figura 14 - Faixa etária



Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

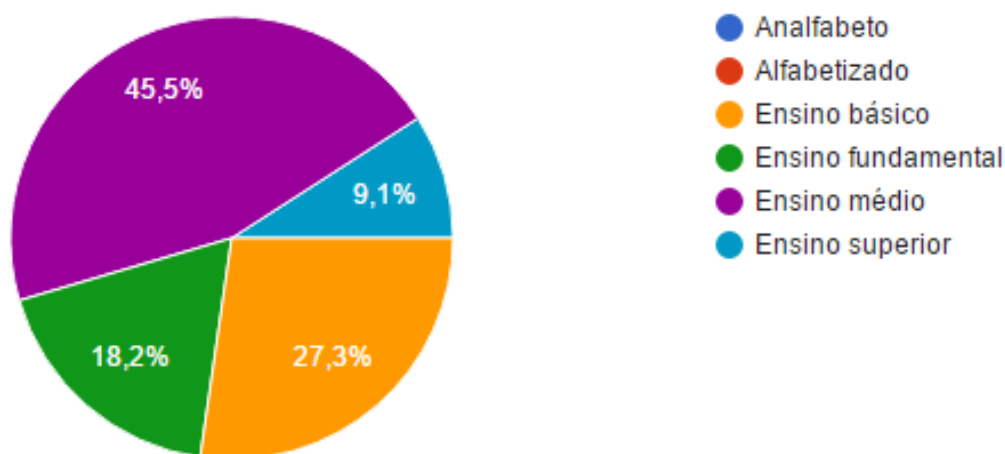
Estes resultados indicam que a maior parte dos microempresários das agroindústrias do município de Cacoal são pessoas com idade superior a 36 anos. Souza Filho et al. (2007) destaca que se por um lado a maior experiência, medida pela idade ou por anos de trabalho no campo, é um fator positivo na adoção de práticas sustentáveis em virtude da capacidade de gestão, por outro, produtores mais velhos podem ser menos energéticos e/ou ter um horizonte de planejamento mais curto.

A falta de pessoas mais jovens neste mercado é um fator que chama atenção com relação à longevidade da agroindústria e a implantação de novas tecnologias. De acordo com Souza Filho et al. (2007) produtores mais jovens são mais facilmente atraídos por novidades e, mais provavelmente, serão os primeiros a adotarem. Sendo assim, um dos problemas destacado pelo autor se refere ao envelhecimento dos agricultores familiares por causa da emigração dos jovens por falta de oportunidades de trabalho no meio rural.

Afirmar que estes resultados poderão comprometer este mercado no futuro do município é algo impreciso, pois, os descendentes desses produtores e novos empreendedores poderão continuar exercendo a atividade. O aumento ou redução desse setor dependerá de vários fatores, como políticas públicas de incentivo, mercado, informação, a permanência das pessoas no campo, como também da tecnologia disponível.

Referente ao nível de escolaridade dos entrevistados pôde ser verificado que 45,5% dos questionados possuem ensino médio, 27,3% estudaram até o ensino básico, 18,1% contam com o ensino fundamental e apenas 9,1% possuem nível superior, como mostra a figura 15.

Figura 15 - Nível de escolaridade



Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

O baixo nível de escolaridade apresentado pode ser um fator comprometedor na sustentação das atividades. O acesso à informação e o conhecimento de novas tecnologias aliado a baixa capacidade de absorção e utilização de ferramentas gerenciais modernas pelos agricultores familiares é destacado por Batalha et al. (2005) como um importante entrave à competitividade deste na agropecuária nacional.

De acordo com Souza Filho et al. (2007) as informações a respeito de inovações agrícolas às agroindústrias são fornecidas geralmente por agências governamentais de extensão rural e em muitos casos, por meio de fontes alternativas, tais como vizinhos, consultores, organizações não governamentais, contatos pessoais, televisão, livros, revistas e outros. Ainda, o autor adverte que no Brasil, dado o perfil social de um grande número de agricultores familiares, em particular o baixo nível de escolaridade, a utilização de material técnico convencional é pouco eficaz.

Sendo assim, Souza Filho et al. (2007) salienta que não apenas a experiência, mas também a capacidade de obter, processar informações e usar de técnicas agrícolas e de métodos gerenciais mais sofisticados podem contribuir para o sucesso do empreendimento. E para tanto, o autor destaca o nível de escolaridade e de formação profissional como indicador desta capacidade.

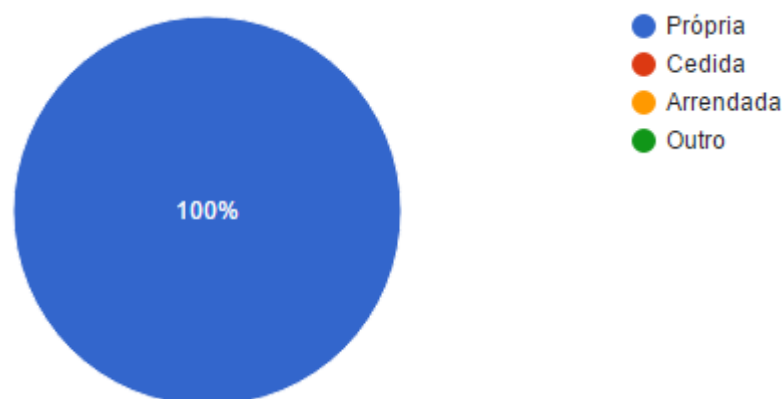
“O nível educacional pode ser um fator importante na adoção de novas tecnologias. Educação está relacionada não somente com a habilidade de obter e processar informação, mas também com o uso de técnicas de gestão.” (SOUZA FILHO et al. p. 8, 2007).

Batalha et al. (2005) destaca que o baixo nível tecnológico dos agricultores familiares brasileiros não pode ser explicado apenas pela falta de tecnologia adequada; ao contrário, em muitos casos, mesmo quando a tecnologia está disponível, esta não se transforma em inovação devido à falta de capacidade e condições para inovar.

A utilização de ferramentas gerenciais aplicadas tanto à gestão de redes de agricultores como às propriedades é colocado como condição para os agricultores familiares explorarem novas oportunidades a partir da formação das redes e da aplicação de tecnologias, que requerem um nível de gestão e que pressupõe um nível mínimo educacional (BATALHA et al., 2005).

Os resultados também apontaram que referente à posse da propriedade onde está instalada a agroindústria, foi possível verificar que 100% das instalações são em terrenos próprios, como apresenta na figura 16.

Figura 16 - Posse da propriedade onde está localizada a unidade de processamento



Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

A posse da propriedade irá indicar o grau em que o produtor se restringe no uso da terra. Esse fator indica que 100% dos entrevistados possuem pleno domínio sobre o terreno, então qualquer atividade que achar relevante exercer na propriedade, o fator de posse não será um empecilho para sua prática.

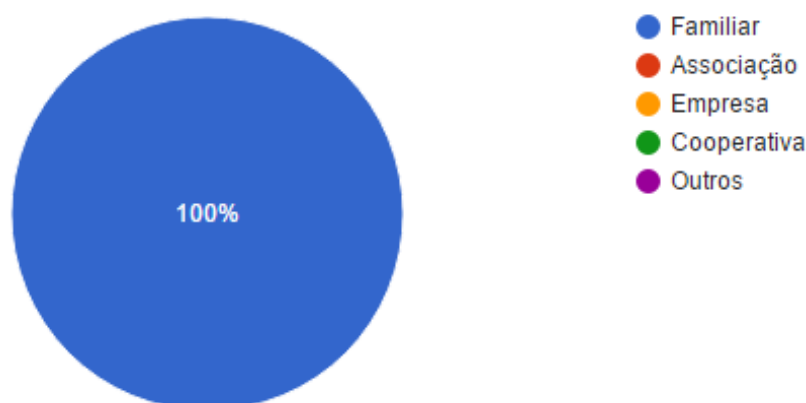
Souza Filho et al. (2007) determina que supondo que arrendatários e parceiros tenham um horizonte de planejamento mais curto do que proprietários, as condições do acordo entre o arrendamento e a parceria podem não criar incentivos para adoção de determinadas práticas. Assim, quando a gestão da propriedade se encontra nas mãos do proprietário, a probabilidade de se investir em tecnologias é maior.

O autor também revela que contratos informais e de curta duração, não dão aos agricultores arrendatários condições para investir em tecnologia, e ainda dificulta o acesso ao crédito e aos canais de comercialização mais estáveis, que permitiriam estabelecer contratos mais favoráveis para os agricultores.

Sendo assim, Batalha et al. (2005) defende que a sobrevivência sustentável da agricultura familiar brasileira, depende da capacidade de intensificar a geração de valor na propriedade. Segundo o autor, a maior parte das estratégias de agregação de valor passa, necessariamente, pela criação e gestão de formas associativas que congreguem um conjunto de agricultores familiares, traduzidos em associações ou cooperativas, com estratégias e objetivos diversificados e muitas vezes desconhecidos pelos agricultores.

Neste sentido, o sistema de organização das agroindústrias pesquisadas teve com unanimidade o exercício das atividades com mão-de-obra exclusivamente familiar, como apresenta a figura 17.

Figura 17 - Sistema de organização da agroindústria



Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

A relevância desse fator se dá em função da forte influência dos fatores culturais e hereditários da empresa e do conhecimento acerca da atividade. O comodismo e a ausência de incentivo e busca de novas formas de organização é destacado para Batalha et al. (2005) como fator limitante da melhora do sistema produtivo, assim como, da agregação de valor dos produtos.

Segundo Souza Filho et al. (p. 13, 2007) a adoção de sistemas de produção potencialmente mais rentáveis é reprimida pela disponibilidade de mão-de-obra familiar, sem condições de contar com trabalho assalariado temporário nos momentos de maior demanda. Para o autor, “a tecnologia pode contribuir para a superação do gargalo de mão-de-obra e para a adoção de sistemas mais rentáveis, baseados na combinação de mão-de-obra familiar e mais capital.”

Ainda para o autor, o grau de organização e participação dos produtores familiares em organizações sociais, como cooperativas e associações, tem impacto direto na capacidade de produção como na eficiência do uso dos recursos. De um lado, a associação permite alcançar o patamar e escala mínima exigida para a adoção de determinados investimentos produtivos. De outro, a organização resulta na melhor informação e amparo de planejamento e gestão das atividades aumentando o poder dos produtores junto ao governo e à sociedade, podendo, como consequência, influenciar de forma positiva na intervenção pública, requisitar assistência técnica, carrear recursos, infraestrutura e outros (SOUZA FILHO et al., 2007).

Segundo Batalha et al. (2005) no que diz respeito à necessidade de desenvolver a capacidade e ferramentas para abordar as relações sistêmicas dos agricultores familiares com os outros agentes das cadeias agroindustriais, é colocado como um desafio maior e mais estratégico, uma vez que sem isto os agricultores familiares ficariam dependentes de outros

agentes, como comerciantes e indústrias, que em geral detém maior liderança e capacidade para promover a articulação e coordenação das atividades. Sendo assim, Souza Filho et al. (2007) destaca a organização como insumo essencial para a incorporação sustentável de novas tecnologias.

Em relação ao tipo de agroindústria/produtos que desenvolvem nas unidades de produção foi possível verificar que aproximadamente 36% atuam nas atividades ligadas ao processamento de polpas de frutas, 18% estão ligadas as atividades de abate e venda de frangos, e os demais com 9% cada, ligados a produção de biscoitos, conservas, queijos, ovos e linguiça, assim como mostra a tabela 3.

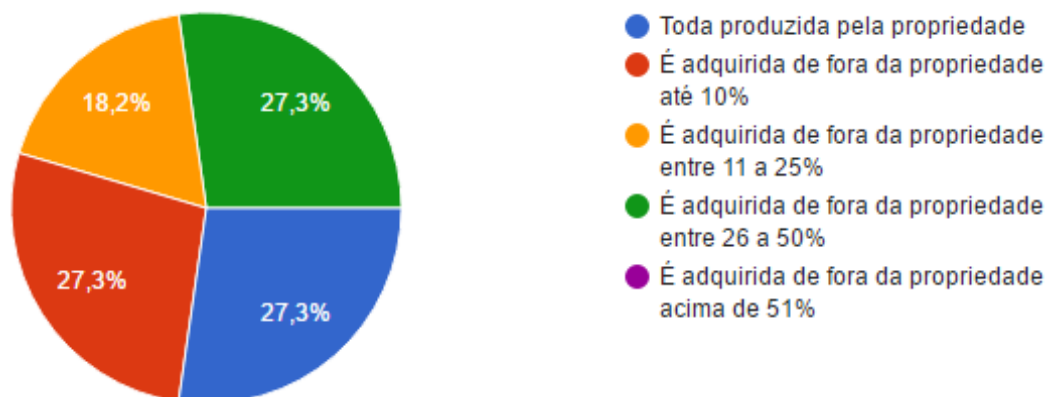
Tabela 3 - Tipo de agroindústria/produtos que desenvolvem

Produtos	Quantidade	%
Polpa de frutas	4	36,36
Biscoitos/salgados/doces	1	9,09
Abate e venda de frango	2	18,18
Conserva de ovos de codorna	1	9,09
Produção de queijo	1	9,09
Ovos de galinha e destilados de cana-de-açúcar	1	9,09
Linguiça suína, bovina e mista	1	9,09
Total	11	100

Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

Para Batalha et al. (2005), como não podem competir em larga escala, as agroindústrias familiares devem explorar por opções de atividades onde a escala de produção não seja atributo essencial de competitividade. O autor ainda destaca que é fundamental levar em conta a heterogeneidade que os caracteriza, tornando ainda mais necessária e complexa a adequação de instrumentos, como políticas públicas, às características do setor e dos produtores.

Como forma de elucidar aspectos, principalmente econômicos e produtivos, dos empreendimentos agroindustriais, relativo à origem da matéria-prima processada nos empreendimentos agroindustriais, 27,3% das agroindústrias afirmam que da matéria-prima utilizada 100% é adquirida na própria propriedade; o mesmo percentual adquire até 10% da sua matéria-prima fora da propriedade; 18,2% compram entre 10 a 25% fora da propriedade; e 27,3% utilizam entre 25 a 50% de outras localidades, como apresenta a figura 18.

Figura 18 - Origem da matéria-prima

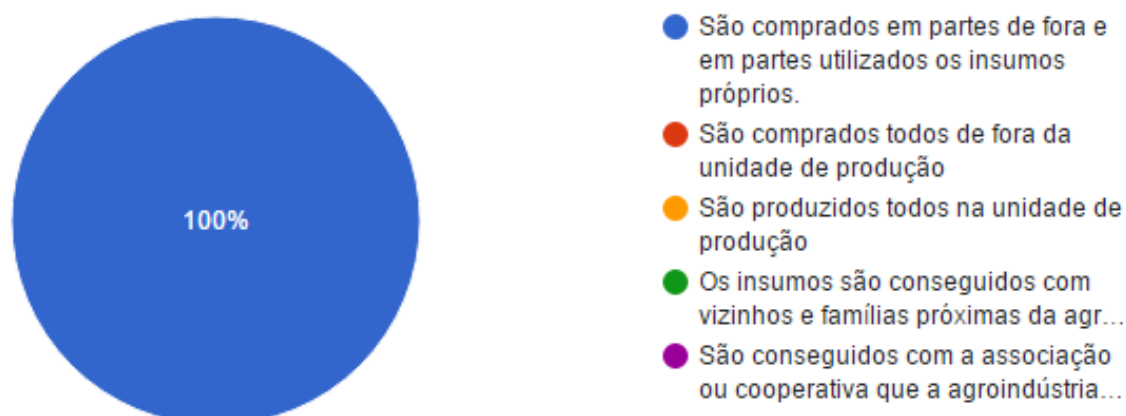
Fonte: Dados obtidos pela pesquisa 2016

Dependendo da origem da matéria-prima pode-se presumir do grau de contribuição da estratégia familiar na sua produção, quanto à autonomia ou dependência da mesma em relação aos agentes externos. A relevância desse dado se dá na percentualidade de autonomia das agroindústrias frente ao mercado, além, de uma estratégia de redução dos custos com a produção.

Pelegri e Gazolla (2006) descrevem que quando uma grande parte da matéria-prima é adquirida de fora do estabelecimento agroindustrial o agricultor familiar pode começar a enfrentar vários problemas como: alto custo de compra da matéria-prima ou falta da mesma, perda da autonomia no processo produtivo e decisório, além do fornecimento de matéria-prima inadequada, sem qualidade, padronização e outros.

Como destacado na figura 18 é notável a fragmentação do percentual de origem da matéria-prima adquirida nessas propriedades. Esse elevado índice de aquisição fora da propriedade acarreta a dependência da agroindústria quanto aos agentes externos, influenciando significativamente nos custos de produção, assim como na garantia de comercialização dos produtos.

Quanto à procedência dos insumos utilizados nas agroindústrias, também nos revela o grau de externalização em que os mesmos estão possuindo no empreendimento familiar. Este nos aponta segundo a pesquisa que, as agroindústrias localizadas no município de Cacoal/RO 100% destas utilizam de insumos - elementos essenciais para a produção de um determinado produto ou serviço – em parte de origem própria e em parte adquiridos fora da propriedade, como mostra a figura 19.

Figura 19 - Procedência dos insumos utilizados na agroindústria

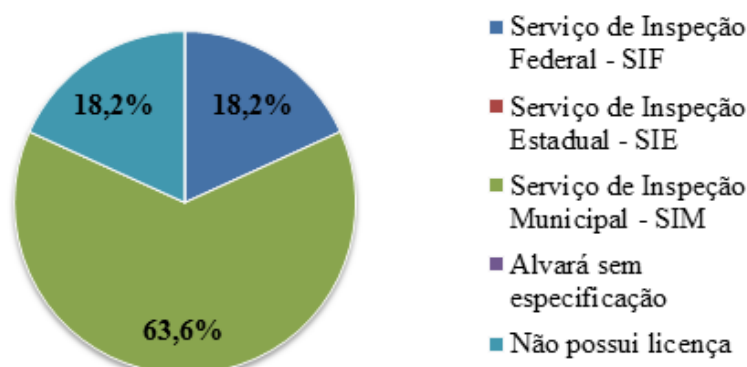
Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

Salientado por Pelegrini e Gazolla (2006), o grau de externalização do processo produtivo, indicado pelo uso de insumos externos, vai indicar o grau de mercantilização das agroindústrias estudadas. Logo, como verificado, no geral todas as agroindústrias questionadas podem acabar por vulnerabilizar seus empreendimentos, pois estes se tornam dependentes do mercado para realizar as operações de fabricação dos alimentos.

Na figura 20, a situação junto às agroindústrias pesquisadas aponta que 18,2% destas atuam ainda na informalidade, porém segundo elas, estão em processo de tramitação para a devida regulamentação.

A ausência da licença de fiscalização sanitária, de acordo com Pelegrini e Gazolla (2006), traz dois problemas principais. De um lado, estes empreendimentos não podem acessar novos mercados e se fortalecerem como alternativa de renda para as famílias e, de outro, se estão comercializando os seus produtos para fora da unidade de produção, estes podem oferecer um risco para os consumidores, devido à carência de garantia quanto a sua origem, sanidade e qualidade, tanto nutricional como microbiológica.

Em contrapartida, dos questionados 81,8% das agroindústrias estão devidamente legalizadas, sendo que destas, 18,2% possuem o registro de Serviço de Inspeção Federal (SIF) e 63,6% registro no Serviço de Inspeção Municipal (SIM), como destacado na figura 20.

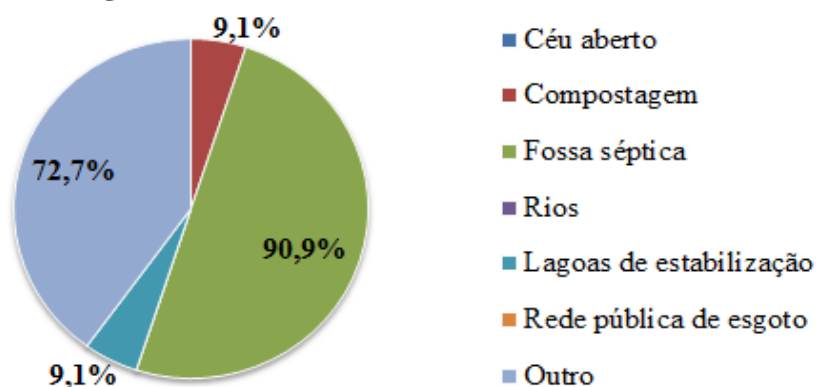
Figura 20 - Registro em órgãos de fiscalização sanitária

Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

Segundo Batalha et al. (2005) as exigências sanitárias afetam, também de forma crescente, o gerenciamento dos sistemas produtivos. Além de toda a legislação sanitária vigente, a regulamentação recente sobre o uso da metodologia de garantia e controle de qualidade é fundamental.

O autor ainda adverte que vários estudos sobre a competitividade de diferentes cadeias agroindustriais, tem apontado a legislação como um dos principais entraves à competitividade. Assim, destaca que estudos deveriam ser conduzidos no sentido de que estas legislações pudessem, na medida do possível, serem adaptadas à realidade dos pequenos produtores rurais (BATALHA et al., 2005).

Relativo ao destino dos resíduos dado pelas agroindústrias, por meio da figura 21, pode ser observado que a maioria delas utilizam mais de um método de descarte sendo que, 9,1% dos entrevistados fazem uso da compostagem, 90,9% utilizam de fossa séptica, 9,1% possuem lagoa de tratamento e 72,7% afirmam utilizarem outros meios de descarte, como no reuso em adução de plantas, porém sem o devido controle e conhecimento referente as quantidades e misturas de materiais.

Figura 21 - Destino do resíduo no estabelecimento

Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

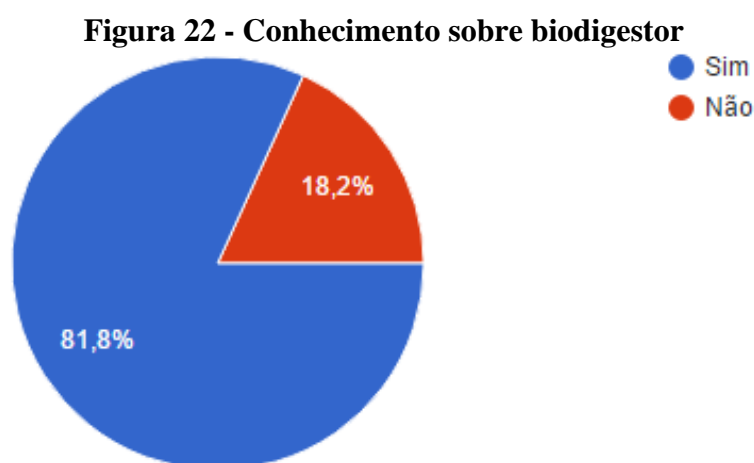
Diante da figura apresentada pode ser verificado que apesar das discussões a cerca do destino adequado aos resíduos e dos malefícios quanto a sua incorreta disposição, as agroindústrias de Cacoal ainda utilizam, em grande número, de sistemas rudimentares de destinação para os resíduos, como a fossa séptica, ou lançamento direto de dejetos nas lavouras.

Oliver (2008) ratifica que é frequente o lançamento direto de dejetos no campo sem o devido tratamento e essa prática, segundo Ferreira (2013) pode ocasionar a poluição do ambiente, tendo em vista que as plantas nem sempre conseguem absorver todos os nutrientes presentes nesses dejetos, ocasionando o acúmulo dos mesmos no solo.

Ferreira (2013) destaca que os dejetos de bovinos, muito utilizados na adubação de lavouras e pastagens em seu estado natural, permitem a ininterrupção do ciclo biológico de patógenos e ainda devido a evaporação dos compostos voláteis contidos no esterco Walker (2009) acrescenta que essa atividade é frequentemente causadora de conflitos sociais.

A falta de tratamento do esgoto sanitário doméstico traz várias consequências negativas para a sociedade como a contaminação através da disposição incorreta de resíduos sólidos industriais e domésticos, infiltração de pesticidas e outros.

As agroindústrias quando questionadas sobre a tecnologia de biodigestão, 81,8% afirmaram ter um breve conhecimento sobre o sistema e 18,2% destacaram nunca terem ouvido falar a respeito do mesmo, como mostra a figura 22.

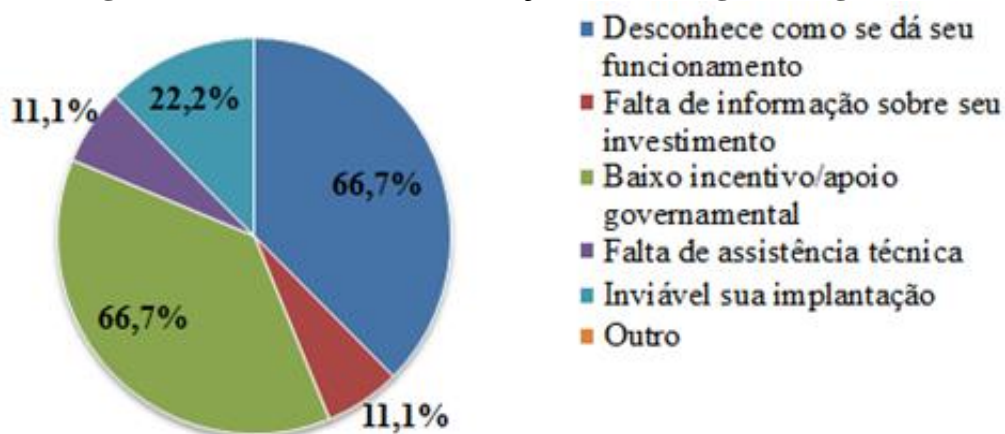


Fonte: Dados obtidos pela pesquisa, 2016

As razões apontadas pelos questionados, que afirmaram possuir determinado conhecimento sobre a tecnologia, destacaram que não fazem uso desse sistema devido principalmente a carência relacionada de como se dá seu funcionamento (66,7%) além do

baixo incentivo e apoio dos governantes (66,7%). A falta de informação referente ao fator econômico também foi um dos itens apontados (11,1%), assim como o de assistência técnica quanto ao seu uso (11,1%). Ainda, um percentual relativo a 22,2% destacaram pesquisar sobre o assunto e definiram como inviável sua utilização em detrimento dos resíduos disponíveis na propriedade.

Figura 23 - Razões da não utilização da tecnologia biodigestora



Fonte: Dados obtidos pela pesquisa

Esperancini et al., (2007) considera que a avaliação de aspectos econômicos da implantação de biodigestores pode fornecer subsídios à formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento local mais sustentável, bem como fornecer subsídios à tomada de decisão quanto à implementação dessa.

Batalha et al. (2005) destaca que é preciso reconhecer que pouco tem sido feito em termos de desenvolvimento de técnicas de gestão que contemplem as particularidades da agricultura familiar e as formas pelas quais ela pode se inserir de maneira competitiva e sustentada no agronegócio nacional.

Segundo Souza Filho et al. (2007) técnicos não estão familiarizados com a realidade da agricultura familiar e com o uso de alternativas adaptadas à condição de baixa capitalização, que caracterizam os produtores de baixa renda. No geral, o autor destaca que são adotados métodos que dado à insuficiência de recursos dos produtores, são aplicado de forma incompleta resultando em elevados índices de perda da produção e baixa produtividade.

Souza Filho et al. (2007) defende que as políticas econômicas afetam direta e indiretamente a rentabilidade e sustentabilidade da agricultura. Mudanças na política comercial elevam ou reduzem a rentabilidade da produção e devido à sensibilidade do setor à

falta de seguro e garantia de preços, à adoção de tecnologias para a agricultura familiar se retrai e assume uma postura conservadora.

Em geral, segundo Batalha et al.(2005) as dificuldades ligadas à gestão individual das propriedades estão ligadas a aspectos como, a inadequação das ferramentas gerenciais existentes à realidade da agricultura familiar; baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento nesta área; descapitalização dos pequenos agricultores; baixo nível de educação formal dos agricultores familiares; falta de uma cultura que crie um ambiente propício à adoção de novas tecnologias de gestão e; a falta de capacitação adequada dos técnicos responsáveis pela assistência aos produtores.

Assim, visando maior explanação e profundidade na pesquisa de maneira a permitir maior conhecimento da área estudada, foi considerado relevante além do levantamento bibliográfico, uma pesquisa de campo com o intuito de estimar a relação custo-benefício de se utilizar da tecnologia de biodigestão para a produção de biogás.

4.1 Estudo de caso

O estudo proposto referente à viabilidade de utilização do biogás tem como base um estudo de caso aplicado a uma propriedade rural localizada no município de Cacoal/RO, com uma área total de aproximadamente 18 hectares, que tem como principal fonte de renda uma agroindústria de queijo com mão-de-obra exclusivamente familiar, instalada no próprio local.

Por meio de uma visita *in loco* e uma entrevista feita com os proprietários da agroindústria, tem-se que o quantitativo de animais presentes no local está distribuído em 19 bovinos, 24 suínos e aves, não especificadas a quantidade.

Considerando os custos domésticos com relação a gás e a energia elétrica, a proprietária afirma que em média tem um gasto mensal de R\$ 68,00 com gás, equivalente a um botijão de 13 kg, gasto apenas para as refeições, e um gasto de em média R\$ 170,00 com energia elétrica. Considerando o valor de R\$ 0,467734/kWh o consumo mensal é equivalente a aproximadamente 364 kWh (quilowatt-hora) de energia por mês.

Para a produção do queijo, a agroindústria tem disponível uma geladeira, também de uso doméstico, na qual armazena o produto depois de pronto e um pasteurizador, do qual não faz uso devido ao alto gasto que o mesmo possui com gás GLP (gás liquefeito de petróleo ou gás de cozinha).

A produção da agroindústria é empurrada, com média de 40 queijos semanais, distribuídos para pequenos comércios informais. A capacidade do pasteurizador adquirido é de 350L de leite, porém em virtude da oferta de matéria-prima e de sua demanda, a mesma divide a necessidade de produção semanal em duas porções, cada qual com uma produção de 20 queijos, o equivalente a 200L de leite.

O gasto com gás GLP para cada pasteurização de 200L de leite, segundo os proprietários, é equivalente a 6,5 kg ($\frac{1}{2}$ botijão) de gás de cozinha. Visto que em média a produção mensal de queijos, para que possam se adequar as normas sanitárias, necessita de oito pasteurizações, o gasto mensal com gás GLP se resume como mostra o quadro 19.

Quadro 19 - Consumo com gás GLP

Consumo de Gás	kg de gás GLP/Pasteurização	Nº de pasteurizações / semana	Custo / kg de gás (R\$ 68,00÷13kg)	Custo com gás GLP / Semana	Custo com gás GLP / Mês	Custo com gás GLP / Ano
Pasteurizador	6,5	2	5,230769231	R\$ 68,00	R\$ 272,00	R\$ 3.264,00
Uso doméstico	-	-	-	-	R\$ 68,00	R\$ 816,00
Total					R\$ 340,00	R\$ 4.080,00

Fonte: Elaborado pela autora

O consumo do equipamento de pasteurização é dependente das condições climáticas, de instalação e do manuseio de operação. Visto que a máquina utilizada na agroindústria possui aquecimento a gás com sistema aberto, isso lhe oferece maior perda de calor e consequentemente maior consumo do mesmo.

Como mostra o quadro, tendo uma produção média mensal de 160 queijos, a mesma gastaria com o uso do pasteurizador, o equivalente a R\$ 272,00 (4 botijões mensais) e mais um botijão para uso doméstico, totalizando R\$340,00 mensais. O custo com essa etapa de processamento é relativamente alto e passaria a ser acrescido no valor do produto final, inviabilizando sua comercialização.

Como pode ser observado, devido ao alto custo com o processo de pasteurização a agroindústria não utiliza desta etapa do processo, fazendo com que seu produto não receba o selo de garantia de qualidade emitido pela fiscalização sanitária local, designado Serviço de Inspeção Municipal – S.I.M, inibindo as vendas do produto.

Segundo o site da Prefeitura Municipal de Uberaba (2016) o Serviço de Inspeção Municipal - S.I.M. emite o certificado de qualidade às empresas e empreendedores que se adequam às exigências sanitárias vigentes como também fazem uso da qualidade e higiene em seu processo de produção. Com isso, incentiva pequenas empresas e empreendedores a

saírem da clandestinidade e oferecer aos consumidores alimentos com qualidade e segurança garantida.

Batalha et al. (2005) afirma que se adequar as exigências sanitárias é um desafio importante para os agricultores familiares, uma vez que os padrões de qualidade exigidos pelos mercados pressupõe a adoção de tecnologias e procedimentos que em muitos casos não são compatíveis com as condições gerais dos agricultores familiares. Para o autor, essas condições podem se referir tanto à capacidade financeira, quanto à escala insuficiente de produção para justificar a incorporação desses equipamentos.

Visto a importância de se obter o certificado de qualidade, a agroindústria já se deparou com as dificuldades enfrentadas para a comercialização dos seus produtos. Estes, deixaram de ser vendidos a maiores empresas e ainda passam por uma instabilidade na demanda devido à ausência do processo de pasteurização e consequentemente insegurança quanto a qualidade do produto.

Para tanto, a unidade digestora proposta a agroindústria, utiliza do modelo já implantado por Mattos e Farias Júnior (2011) na região nordeste do país, da qual obtiveram êxito e baixo investimento. O modelo adotado aproxima-se do tipo indiano feito a base de concreto e o gasômetro representado por uma caixa d'água de policloreto de vinila - PVC, que terá como capacidade máxima aproximadamente 14 m³ de biomassa no tanque.

4.1.1 Capacidade de produção de biogás e quantificação do gás a ser usado

A necessidade diária do biogás a fim de que a agroindústria reduza seus custos com o gás liquefeito de petróleo – GLP foi obtida por meio da conversão dessa necessidade mensal, que corresponde a 65 kg de gás de cozinha (5 botijões), para m³ de biogás conforme a equivalência apresentada nos quadros 14 e 15 da revisão bibliográfica, sendo 0,45 kg de gás GLP equivalente a 1m³ de biogás, como demonstrado no quadro 20.

Quadro 20 - Necessidade diária e mensal de biogás

Necessidade de gás	kg de gás GLP / pasteurização	Nº de pasteurizações / mês	kg de gás GLP gasto / mês	Equivalência	m ³ de biogás / mês	m ³ de biogás / dia
Pasteurizador	6,5	8	52	0,45	116	3,9
Uso doméstico	-	-	13	0,45	29	1,0
Total			65		144	4,8

Fonte: Elaborado pela autora

Sendo assim, com base nos gastos descritos pelos proprietários e a equivalência desses para o biogás tem-se que a necessidade mensal de 65 kg de gás de cozinha apresentada no quadro é equivalente a uma necessidade 144 m³ de biogás mensal, considerando o mês com trinta dias, esse valor se reflete em 4,8 m³ de biogás ao dia.

Obtida a necessidade diária de biogás igual a 4,8 m³ foi analisada a quantidade de matéria prima (dejetos) necessários para a produção do mesmo. Considerando a média encontrada em estudos feitos por Gaspar (2003) e Farret (2010) já apresentado no quadro 10, a produção média de dejetos bovinos refere-se a 10 kg e para suínos, 2,25kg.

De acordo com Silva et al. (p. 2, 2011) “a produção diária de esterco dos animais varia de acordo com o sistema de manejo adotado e de acordo com o peso vivo do animal, assim como a composição físico-química dos mesmos, podendo sofrer grandes variações em virtude de sua alimentação”.

Com isso, em entrevista com o proprietário da agroindústria e questionado sobre o quantitativo de dejetos na propriedade, o mesmo afirmou que essa quantidade varia ao longo do mês, mas que em média também considera os valores encontrados pelos estudos apresentados.

De acordo com o volume diário de substrato produzido pelos animais na propriedade e o conhecimento com a relação ao fator de conversão cada biomassa para geração de biogás apresentado no quadro 12, podemos calcular o potencial de produção diária e mensal de biogás no biodigestor.

Assim pode-se presumir que se em média cada suíno produz 2,25 kg de dejetos por dia e 1 kg de dejetos produz aproximadamente 0,083 m³ de biogás, para obter um metro cúbico (1m³) do mesmo são necessários 12 quilogramas (kg) de dejetos, o equivalente a aproximadamente 5 suínos. Com isso, cada animal produz em média 0,187 m³ de biogás por dia.

$$V \text{ gás/animal} = \text{dejetos/dia} \times F (\text{produção/animal})$$

$$V \text{ gás/animal} = 2,25 \times 0,083$$

$$V \text{ gás/animal} = 0,187 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Para bovinos, a análise ocorre da mesma forma. Cada bovino produz em média 10 kg de dejetos e cada 1 kg de dejetos produz 0,04 m³ de biogás, com isso cada animal produz cerca

e 0,4 m³ de biogás, logo para gerar 1 m³ por dia, serão necessários 25 kg de esterco, o aproximado de 3 bovinos.

Sendo assim, por meio da fórmula desenvolvida por Oliveira (2009) a fim de determinar o quantitativo de biogás gerado foi obtido por meio de um rearranjo da fórmula, determinar a quantidade de dejetos necessários para se produzir os 4,8 m³ de biogás diários necessários, como mostra a fórmula:

$$V = Q \times N \times F$$

Sendo:

V: o volume de biogás produzido diariamente;

Q: a quantidade de dejetos produzida por cabeça;

N: representa o número de animais;

F: fator de conversão da matéria orgânica em biogás.

Rearranjo:

$$(Q \times N) = \frac{V}{F}$$

Com isso, utilizando do rearranjo da fórmula apresentada por Oliveira (200) podemos obter a necessidade de dejetos animais, como mostra o quadro 21. Assim pode-se verificar que para se obter a necessidade diária de 4,8 m³ de biogás, pode se optar por utilizar de 120 kg de dejetos bovinos; 57,8 kg de dejetos suínos; ou ainda uma mistura de ambos, respeitando o fator de conversão (F) de cada animal.

Quadro 21 - Quantidade de dejetos necessários diariamente

Biomassa	Necessidade diária de biogás em m ³ (V)	m ³ de biogás/kg de dejetos (F)	Quantidade total de dejetos necessários em kg (Q x N)	Quantidade de animais necessários (N)
Bovinos	4,8	0,04	120	12
Suínos		0,083	57,8	26

Fonte: Elaborado pela autora

Relativo aos fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia tem-se em virtude das condições climáticas do local, matéria-prima abundante que pode ser conseguida no próprio local ou ainda nas redondezas, se atendidas às condições de instalação, a implantação dessa tecnologia na região é sim favorável e possível de obter rendimento.

A capacidade total de geração de biogás também pode ser quantificada utilizando da fórmula:

$$V = (Q_{\text{bovina}} \times N_b \times F_b) + (Q_{\text{suína}} \times N_s \times F_s)$$

Sendo:

V: o volume de biogás produzido diariamente;

Q_{bovina} : a quantidade de dejetos produzida por cabeça bovina, média de 10 kg;

N_b : representa o número de bovinos;

F_b : o fator de conversão da matéria orgânica bovina em biogás, que representa 0,04 m³/kg;

$Q_{\text{suína}}$: a quantidade de dejetos produzida por cabeça suína, média de 2,25 kg;

N_s : representa o número de suínos;

F_s : o fator de conversão da matéria orgânica suína em biogás, que representa 0,083 m³/kg;

Considerando todo o quantitativo de animais bovinos e suínos presentes na propriedade onde se desenvolve a agroindústria tem-se que o potencial de biogás diário apresentado pela mesma resume-se em:

$$V = (10 \times 19 \times 0,04) + (2,25 \times 24 \times 0,083)$$

$$V = 12,082 \text{ m}^3 \text{ biogás/dia.}$$

Logo, considerando o mês com 30 dias, a propriedade tem uma capacidade mensal de:

$$V = 362,46 \text{ m}^3 \text{ biogás/mês.}$$

Sendo assim, mantendo-se constante o quantitativo de animais, bovinos e suínos presentes na propriedade, o valor do potencial gerador de biogás refere-se a 362,46 m³ por mês. Esses valores também podem ser apresentados de forma detalhada, como mostra o quadro 22.

Quadro 22 - Resumo de potencial gerador de biogás no local

Biomassa	Kg de dejetos/dia	m ³ de biogás/kg de dejetos	Nº de animais na propriedade	Capacidade de produção diária de biogás (m ³)	Capacidade de produção mensal de biogás (m ³)
Bovinos	10	0,04	19	7,6	228
Suínos	2,25	0,083	24	4,482	134,46
Total				12,082	362,46

Fonte: Elaborado pela autora

Com isso podemos verificar que a utilização do biogás simplesmente para a geração de calor não utiliza de todo o potencial energético presente na propriedade, empregando 39,7% desse potencial. O excedente, relativo a 60,3% poderá também ser utilizado para outras finalidades, como geração de energia.

Se a propriedade optar por essa utilização, considerando o consumo mensal de aproximadamente 364 kWh/mês, utilizando da equivalência obtida por autores como os demonstrado no quadro 15, que presume que para obter 1,43 kWh de eletricidade é necessário 1m³ de biogás foi possível calcular que a necessidade representa um total aproximado de 254,5 m³ de biogás mensais.

O proprietário ainda poderia optar por repassar a energia excedente produzida para a rede de energia junto a Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e assim gerar um “crédito de energia” que será posteriormente utilizado para abater seu consumo. O saldo positivo referente ao crédito de energia segundo Secchi (2014) não pode ser revertido em dinheiro, mas sim ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário.

Referente ao biofertilizante oriundo do processo de decomposição dos dejetos, pode-se verificar que se introduzido diariamente o equivalente a 120 L de dejetos bovinos para a geração 4,8 m³ de biogás necessários e respeitando a relação esterco: água de 1:1 apresentado no quadro 5, o volume introduzido no biodigestor é de 240 L ou 0,24 m³ de biomassa fluida bovina. Logo, quando completado o volume da caixa digestora, o volume que será lançado para fermentação e consequentemente impulsionado afora por pressão, será direcionado para a caixa de descarga onde poderá ser retirado e utilizado tanto como biofertilizante quanto adubo para as plantas, reduzindo seus custos com insumos agrícolas.

4.1.2 Análise econômica

A fim de verificar a relação custo-benefício do uso dessa tecnologia, foram analisados quais os custos relacionados com a implantação do mesmo, como o capital investido e manutenção, assim como apurar o retorno econômico.

A primordial razão para o projeto de implantação dessa tecnologia se deu em função da adequação da agroindústria as normas sanitárias de produção. Em função disso, a análise feita se dará considerando a redução com os custos relativos ao gás liquefeito de petróleo utilizado na agroindústria, onde reflete o principal custo do processo, como também a atividade essencial para sua comercialização, o processo de pasteurização.

Como demonstrado no quadro 19, o custo anual com o gás GLP gera um total de R\$ 4.080,00. Com a implantação do biodigestor esse custo passaria a ser inexistente para a agroindústria e com isso os proprietários utilizariam do processo de pasteurização da qual depende o selo de qualidade emitido pelo município – Serviço de Inspeção Municipal (SIM).

Para a análise do custo de investimento para a implantação do biodigestor foi feito um levantamento dos preços dos materiais necessários para sua construção. Esses levantamentos financeiros assim como seus respectivos fornecedores estão dispostos no Anexo A.

O valor total do projeto compreende um valor de R\$ 2.712,57. Devido às incertezas perante a instabilidade econômica, foi oportuno adicionar um valor de contingência para eventuais variações nos custos, com acréscimo de 10%. Para tanto os cálculos de investimento e os indicadores projetados de viabilidade dar-se-ão com um total fixado em R\$ 3.000.

Uma vez que a matéria-prima utilizada no processo de biodigestão refere-se a um material antes desperdiçado, usualmente depositados a céu aberto e com efeitos poluentes, não foi considerado o custo de oportunidade desses dejetos. Assim como não foram considerados os custos de manutenção do equipamento, uma vez que informações técnicas dão conta de que os custos de manutenção do biodigestor não são significativos.

Com isso, levando-se em conta o valor de R\$ 3.000 para o suposto investimento e a redução dos custos com gás liquefeito de petróleo, no quadro 23 é apresentado os valores obtidos pelos indicadores econômicos de viabilidade com essa implantação.

Quadro 23 - Indicadores de Viabilidade

Mês	Custo mensal com gás GLP	Pay Back	VPL	TIR	
		Saldo F.C.	F. C. Descontado	5%	6%
0	-R\$ 3.000,00	-R\$ 3.000,00	-R\$ 3.000,00	-R\$ 3.000,00	-R\$ 3.000,00
1	R\$ 340,00	-R\$ 2.660,00	R\$ 336,43	R\$ 323,81	R\$ 320,75
2	R\$ 340,00	-R\$ 2.320,00	R\$ 332,91	R\$ 308,39	R\$ 302,60
3	R\$ 340,00	-R\$ 1.980,00	R\$ 329,41	R\$ 293,70	R\$ 285,47
4	R\$ 340,00	-R\$ 1.640,00	R\$ 325,96	R\$ 279,72	R\$ 269,31
5	R\$ 340,00	-R\$ 1.300,00	R\$ 322,54	R\$ 266,40	R\$ 254,07
6	R\$ 340,00	-R\$ 960,00	R\$ 319,16	R\$ 253,71	R\$ 239,69
7	R\$ 340,00	-R\$ 620,00	R\$ 315,81	R\$ 241,63	R\$ 226,12
8	R\$ 340,00	-R\$ 280,00	R\$ 312,50	R\$ 230,13	R\$ 213,32
9	R\$ 340,00	R\$ 60,00	R\$ 309,22	R\$ 219,17	R\$ 201,25
10	R\$ 340,00	R\$ 400,00	R\$ 305,98	R\$ 208,73	R\$ 189,85
11	R\$ 340,00	R\$ 740,00	R\$ 302,77	R\$ 198,79	R\$ 179,11
12	R\$ 340,00	R\$ 1.080,00	R\$ 299,59	R\$ 189,32	R\$ 168,97
Total		8,82	812,26	R\$ 13,51	-R\$ 149,49
				5,08%	

Fonte: Elaborado pela autora

Segundo Woiler e Mathias (2013) o *Pay Back* - tempo de recuperação do capital investido é o prazo necessário para que os desembolsos sejam integralmente recuperados. Leva-se em consideração apenas para os cálculos o custo do investimento e o benefício que este trará, sem considerar o custo de capital, ou seja, as taxas de juros. Sendo assim, podemos definir que:

$$Pay\ Back\ (n) = 8 + \frac{280,00}{340,00}$$

$$Pay\ Back\ (n) = 8,82\ meses$$

Logo, como pode ser verificado através do cálculo e também demonstrado no quadro, o tempo de recuperação do capital investido se dará em aproximadamente 8,82 meses.

O Valor Presente Líquido consiste em trazer para o presente os valores futuros de um fluxo de caixa e compará-los ao investimento inicial, sendo possível verificar a viabilidade do investimento. Conforme os dados apresentados no quadro à empresa obteve um valor presente líquido positivo, num valor de R\$ 812,26 para tanto foram calculados todos os seus fluxos de caixa para o valor presente considerando-se uma taxa de juros de 1,06% a.m., segundo a Taxa

Selic atual. Logo, os ganhos do projeto remuneraram o investimento e ainda permitirão aumentar o valor da empresa em R\$ 812,26. Portanto, evidenciando ser um projeto atrativo.

A Taxa Interna de Retorno – TIR, também definido por Woiler e Mathias (2013), é a taxa de juros que determina o ponto de equilíbrio em um investimento, quando comparado ao valor presente e ao valor do investimento. A empresa apresenta uma taxa de retorno de 5,08% a.m. uma taxa razoavelmente pequena, porém considerando que este refere-se a um investimento que oferece redução dos custos de produção de maneira permanente, é uma taxa consideravelmente atrativa.

Sendo assim, o valor dos benefícios não se refere às receitas econômicas, uma vez que o biogás não é vendido no mercado, mas sim à renda que se deixa de transferir para outros agentes ao reduzir o consumo de insumos básicos proveniente de fontes externas.

4.1.2.1 Benefícios esperados com o uso do biodigestor segundo Oliver (2008):

- A. Geração de biogás: uma energia renovável e limpa, substituinte do gás liquefeito de petróleo (gás de cozinha), não desprende fumaça durante sua queima e não deixa resíduos nas panelas. Pode ser utilizado em: fogões, lampiões, geladeiras, chocadeiras, secadores, geradores de energia elétrica, motores de combustão interna, e outros;
- B. Produção de biofertilizante: material obtido após a fermentação do esterco bovino e suíno com alta qualidade logo, utilizado como adubo na produção de forragens e alimentos aumentando o rendimento agrícola;
- C. Melhoria das condições sanitárias: a limpeza diária nas instalações a fim de recolher o esterco e seu tratamento adequado, reduz a contaminação do ambiente por microrganismos nocivos, parasitas, moscas e mortalidade dos animais em contrapartida aumenta a produção de leite, ganho de peso, bem como a qualidade dos produtos;
- D. Benefícios ambientais: com a redução dos gases causadores do efeito estufa, preservação da fauna e da flora pela redução dos cortes de árvores além da redução dos odores advindos do processo de decomposição e manejo inadequado dos dejetos;
- E. Benefícios sociais e econômicos: economia do gás liquefeito de petróleo (GLP), óleo diesel, lenha e energia elétrica. Também aumenta a produção e beneficia mulheres do campo, que deixam o corte de lenha e ainda reduzem o esforço pela limpeza devido a eliminação da fuligem;

- F. Tecnologia sustentável: permite ao máximo o aproveitamento dos recursos locais e integra atividades rurais.

4.1.3 Escolha do local e procedimentos para a instalação do biodigestor

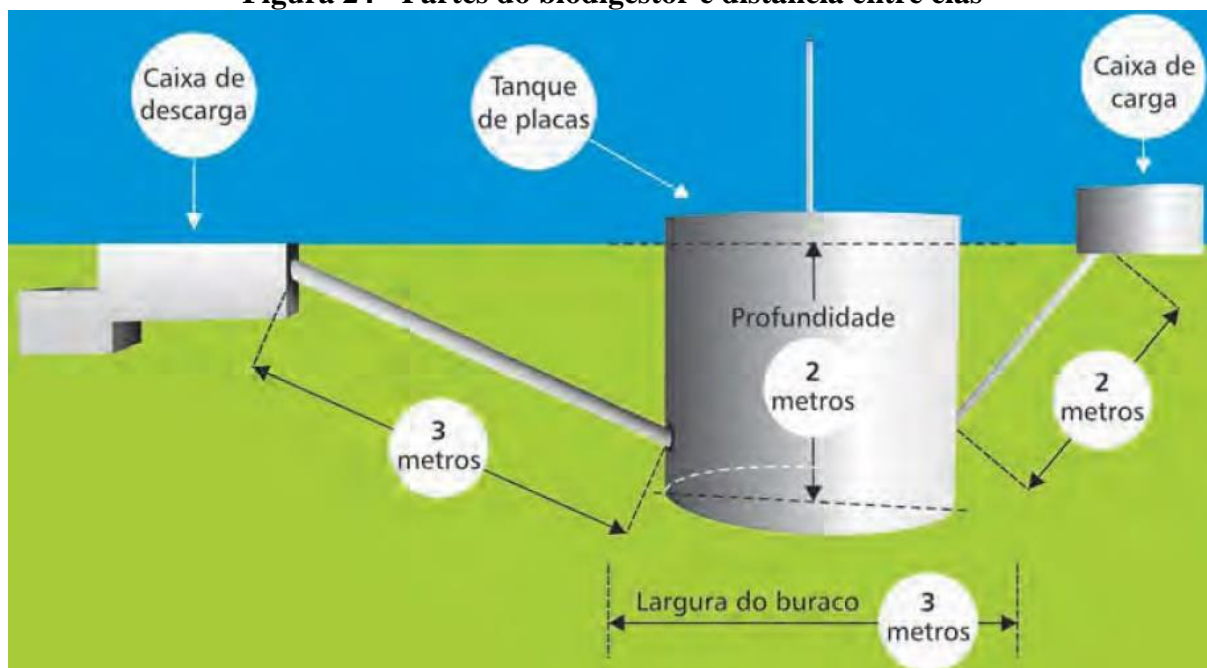
Comastri Filho (1981) salienta que a escolha de um tipo de biodigestor ou de outro irá depender das condições locais, disponibilidade de substrato, experiência e conhecimento do construtor, investimento envolvido, entre outras razões. Mas, se for corretamente instalado e operado, qualquer modelo de digestor construído, dará uma boa produção de gás.

Como já mencionado, Mattos e Frias Júnior (2011) reforçam que a construção do biodigestor inicia-se com a escolha do local onde será instalado. Deverá estar próximo à cozinha, mas não ao lado da casa, por outro lado, se for escolhido um local muito distante da cozinha, dificultará a operação do biodigestor e pode reduzir o rendimento e eficiência em função do alongamento da tubulação de gás até a cozinha.

Com isso, o pressuposto é que o local escolhido para a construção ditará 15 metros de distância da casa, sem sombreamento, pois o calor é um importante fator na eficiência da produção de biogás e longe de árvores e outras edificações, a fim de evitar perfurações e/ou danos ao equipamento.

Escolhido o local, será iniciada a escavação do buraco central que abrigará o tanque principal, os locais para instalação das caixas de carga e descarga, e as canaletas das tubulações. O buraco principal será projetado em torno de 2 m de profundidade e cerca de 3 m de circunferência. As canaletas escavadas em declive desde a parte baixa do buraco principal, partindo-se de uma profundidade de 1,80 m (0,20 m a partir do fundo do buraco) até a superfície. O comprimento da canaleta para o sistema de carga seja 2 m para a caixa de carga e de 3 m para a caixa de descarga, como na Figura 24.

Figura 24 - Partes do biodigestor e distância entre elas



Fonte: Mattos e Farias Júnior, 2011

Todo o projeto do biodigestor utilizará como referência o modelo de Biodigestor Sertanejo proposto por Mattos e Farias Júnior, no qual descrevem todos os processos e os materiais utilizados para esse tipo de tanque. A descrição completa dos materiais, quantidades e custos estão disponíveis no Anexo A.

Deve-se ressaltar que para seu perfeito funcionamento, o biodigestor deverá possuir três batentes no fundo, distribuídos por igual na parede do tanque, construídos em tijolos. Sua função é de evitar que a caixa de fibra encoste no fundo e feche as entradas e saídas de esterco da câmara de biodigestão.

A caixa de carga deverá ser construída no nível do terreno em formato cilíndrico com um raio de 0,4 m, que facilita a mistura do material orgânico com um pouco de água. Mattos e Farias Júnior (2011) destaca que isso melhora a homogeneização do material facilitando a carga no biodigestor. Já a caixa para a descarga, ou reservatório de saída, ao contrário do reservatório de entrada, fica abaixo do nível do terreno e para que a descarga aconteça corretamente, o seu nível deve estar abaixo do nível da carga.

Na projeção do reservatório de descarga, o mesmo conta com dois níveis de profundidade. No fundo do primeiro reservatório é depositada uma camada de brita, de maneira a cobrir os tubos. Sobre ela é colocada uma tela. A parede divisória vai permitir a separação da fração líquida da fração sólida, que poderão ser utilizados como biofertilizante.

A fração líquida, além de fertilizante, funciona também como defensivo natural com eficiência para algumas pragas e fungos (MATTOS E FARIAS JÚNIOR, 2011).

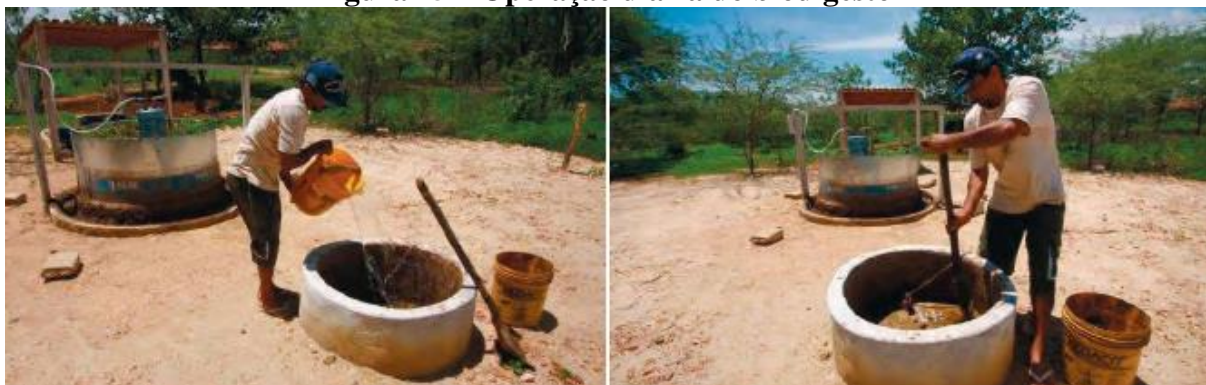
Para a câmara de biocombustão, utilizada uma caixa d'água de 3.000 litros e sobre ela um lastro (cinta de zinco) preenchido com terra ou brita para aumentar o peso e assim promover uma pressão uniforme no biogás, evitando assim falhas na condução até o fogão. Para a condução do gás se fará uso de tubo plástico flexível e rígido de PVC e instalados filtros de impurezas, que eliminam alguns gases presentes na composição do biogás responsáveis por gerar mau cheiro durante sua queima.

O filtro utilizado, segundo Mattos e Farias Júnior (2011) é construído com garrações de água mineral de 20 litros em acrílico em que o biogás é forçado a passar pela água, que borbulha e assim dissolve as impurezas do biogás, ficando ali os elementos causadores do mau cheiro. Por fim, no ponto mais baixo da tubulação de gás, deve-se instalar um dreno visando à retirada do excesso de água presente no gás e assim melhorar a uniformidade de sua queima.

4.1.4 Manejo e operação diária do biodigestor

Oliver (2008) aponta que as operações diárias feita nas propriedades resumem-se a primeiramente, manter os animais presos no curral durante uma parte do dia ou à noite; Coletar esterco pela manhã e depositar na caixa de entrada; adicionar água na proporção correta de 1:1 para bovinos e 1:1,3 para suínos, como mostra o quadro 5; misturar e liberar para o biodigestor; retirar e aplicar o biofertilizante nas hortas; e por fim utilizar o biogás para cozinhar, para ligar motores, etc. e assim continuamente.

Figura 25 – Operação diária do biodigestor



Fonte: Mattos e Farias Júnior (2011)

Mattos e Farias Júnior (2011) reforça o esterco adicionado ao biodigestor não pode estar seco. Ele deve ser sempre diluído em água, na caixa de entrada, porém não de maneira excessiva. A mistura deve-se manter cremosa e que abastecido no início da manhã, com as condições do clima de alta insolação e calor a fermentação é eficiente.

4.1.5 Adaptação de equipamentos para o funcionamento a biogás

De acordo com Brondani (p. 35) a utilização do biogás em substituição ao gás de cozinha (GLP) não há necessidade de ser purificado desde que existam válvulas e equipamentos de saída ajustadas para ele, mais resistente a corrosão. Ainda acrescenta, que para geração de energia elétrica utiliza-se geradores acionados por motores ciclo Otto ou turbinas, já disponíveis no mercado.

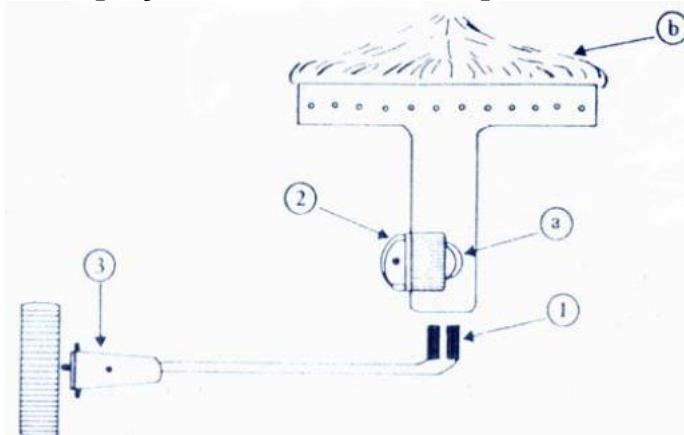
De acordo com Mattos e Farias Júnior (2011) o biodigestor trabalha a uma pressão muito menor do que a pressão do gás de cozinha. Para isso é necessário que seja adaptado os fogões convencionais para trabalhar com o biogás.

A adaptação do equipamento segundo Oliver (2008), assim como, para Mattos e Farias Júnior (2011) consiste em:

1. Abrir o giclê (injetor de gás) a partir de 1,5 mm, ou até 2,0 mm;
2. Fechar aos poucos a entrada de ar, até que a chama demonstre uma queima eficiente;
3. Em alguns casos, abrir para 1 mm o furinho da passagem do biogás pelo registro de fogão.

A figura 26 mostra como se dá essa adaptação.

Figura 26 - Adaptação Dos Queimadores Superiores Do Fogão A Gás



Fonte: Oliver, 2008

A regulagem segundo Mattos e Farias Júnior (2011) varia em função do modelo do fogão e alguns indicadores como, a cor da chama, barulho característico da queima e cheiro dão o ponto de regulagem ideal.

Essas observações também são destacadas por Oliver (2008), para ele, a chama deverá ficar em forma de “chama de vela” e apresentar um chiado característico. Isto se consegue regulando (abrindo ou fechando) a entrada de ar e alargando aos poucos o giclê. Na queima, não deve haver cheiro de biogás e caso houver, o fogão está mal adaptado. A eficiência da chama num fogão mal adaptado chega a no máximo até 400° C, enquanto que no bem adaptado chega até 800° C.

Outros equipamentos também poderão ser adaptados, como o Motor Estacionário à Gasolina de Quatro Tempos e outros.

4.1.6 Medidas de segurança e manutenção do biodigestor

Alguns cuidados segundo Oliver (2008) devem ser tomados no manuseio do biodigestor. O primeiro refere-se a manter distância do local instalado crianças e animais; Manter o biodigestor e depósito de biofertilizantes isolados; Uma vez por mês, verificar o estado geral das instalações de biogás por meio da inspeção visual, em especial as juntas e emendas para verificar se está ocorrendo vazamento, pincelando com água e sabão; Utilizar de braçadeiras e conexões adequadas e correta instalação de drenos da água; Cuidado roedores; Evitar que o gás se misture com o ar dentro da campânula e na linha de condução de gás; Providenciar ventilação adequada em torno das linhas de gás dentro da casa, no entanto, os aparelhos queimadores devem ser localizados protegidos de corrente de ar; Não fumar e não acender fósforos perto do digestor.

5 CONCLUSÃO

A priori com o intuito de compreender as razões pelas quais as agroindústrias localizadas no município e Cacoal/RO não fazem uso da tecnologia de biodigestão, foram aplicados questionários a um percentual de aproximadamente 60% do total, levantando questões referentes a aquisição de matéria-prima, insumos, destinação dos resíduos e outros.

As respostas referentes à pesquisa apontam que os proprietários das agroindústrias possuem em geral, próximos a 80%, mínima informação sobre o uso de biodigestores e destacaram como razão para não fazerem o uso do mesmo, ao desconhecimento de seu funcionamento e ausência de políticas públicas de incentivo a essa tecnologia.

Sendo assim, é necessário buscar alternativas por meio da adoção de práticas que estimulem as propriedades rurais a encontrarem mecanismos, por meio de incentivos públicos e privados, que auxiliem na operacionalização da cadeia produtiva permitindo fortalecer a agricultura familiar e agregar valor aos seus produtos.

Os resultados apresentados podem ser utilizados na formulação de políticas públicas a fim de implementar assistência técnica e incentivo para a utilização de biodigestores, bem como podem ser utilizados para subsidiar propostas de programas de financiamento de aproveitamento de biomassa para fins de produção de energia, tendo em vista a economia de custos gerado pelo processo, bem como das vantagens ambientais.

Visando maior explanação e profundidade na pesquisa foi considerado relevante uma pesquisa de campo visando abordar os ganhos que determinada agroindústria poderá obter fazendo uso dessa tecnologia.

Com isso, pôde se chegar a conclusão que pelo quantitativo de animais, suínos e bovinos, presentes na propriedade o que antes era desperdiçado e causava insatisfação social, devido aos fatores fétidos da atividade, agora pode ser utilizado para a redução dos custos na agroindústria.

Tendo como base as pesquisas desenvolvidas durante o desenvolvimento desse trabalho, desde a revisão bibliográfica até os valores finais, se conclui que a partir dos dados levantados junto à propriedade e com a revisão bibliográfica, a necessidade mensal referente ao custo preponderante do local está relacionado ao gás liquefeito de petróleo – GLP, que corresponde a 4,8 m³ de biogás por dia.

Assim, verificado a necessidade diária, foi possível estimar que 120 kg de dejetos bovinos, o equivalente a 12 animais, seriam suficientes para gerar essa produção de gás; ou

ainda, se optasse por dejetos suínos esse quantitativo se resumiria em 57,8 kg de dejetos, correspondendo a aproximadamente 26 animais. O proprietário ainda se achar conveniente poderá usar da mistura de ambos, respeitando o fator de conversão (F) de cada animal.

A utilização do biogás simplesmente para a geração de calor não utiliza de todo o potencial energético presente na propriedade, empregando 39,7% desse potencial. O excedente, relativo a 60,3% poderá também ser utilizado para outras finalidades, como geração de energia ou repassar para a rede de energia junto a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e assim gerar um “crédito de energia” que será posteriormente utilizado para abater seu consumo.

Referente ao biofertilizante oriundo do processo de decomposição dos dejetos, o volume introduzido no biodigestor de 240 l ou 0,24 m³ de biomassa fluida, quando bovina, completado o volume da caixa digestora, devido a pressão, será direcionado para a caixa de descarga na mesma proporção e assim poderá ser retirado e utilizado como biofertilizante e adubo para as plantas, reduzindo os custos com fertilizantes e adubos químicos na propriedade.

O valor total do investimento para implantação do biodigestor compreende a R\$ 2.712,57. Porém em virtude das incertezas perante a instabilidade econômica em que vivemos foi oportuno adicionar um valor de contingência para eventuais variações nos custos, com acréscimo de 10%. Para tanto, os cálculos de investimento e indicadores de viabilidade foram dados como um total investido fixado em R\$ 3.000.

Com isso, o tempo de recuperação do capital investido - Payback foi de 8,82 meses. O valor presente líquido obtido foi positivo de R\$ 812,26 e a taxa interna de retorno – TIR de 5,08% a.m. Considerando que o investimento oferece redução dos custos de produção de maneira permanente, apesar da taxa de retorno ser relativamente pequena, ela nos fornece a ideia dos ganhos econômicos oriundos apenas da redução do custo com gás de cozinha, com isso demonstrando o investimento ser atrativo.

Assim a utilização do biodigestor foi considerado viável, pois, há uma diminuição do custo com o gás de cozinha, que no decorrer do tempo, paga o biodigestor, e ainda possui um potencial de energia superior ao destino que será dado, podendo ser utilizado para outras finalidades, como num motor gerador de energia, que com uma simples adaptação também poderá ser utilizado e reduzir outros custos.

Assim conclui-se que com a implantação do biodigestor na agronindústria, esta será autossuficiente em energia térmica reduzindo seus custos de produção e aumentando a renda

do produtor. Além das vantagens econômicas com o uso do biogás, também é verificado uma atenção ao resíduo dando-lhes um destino adequado que reduz os danos ao meio ambiente, minimização dos gases causadores do efeito estufa, do ambiente fétido e ainda uma agricultura sustentável sem o uso de fertilizantes químicos e pesticidas devido a utilização do resíduo da caixa digestora, o biofertilizante.

Ainda Mattos e Farias Júnior (2011) destacam que o impacto dos biodigestores é globalmente positivo. Com seu uso, a emissão global de gases do efeito estufa diminui, assim como do desmatamento. Além do quê, com a utilização do biofertilizante há ocorrência de uma ciclagem mais eficiente de nutrientes tanto agricultura, como na pecuária.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, R. G. (2011). **Viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração de energia elétrica a partir de biogás gerado em um abatedouro de aves.** Medianeira: Monografia apresentada a Universidade Tecnológica Federal do Paraná -UTFPR.
- BARICHELO, Rodrigo. **O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor:** Um estudo de caso da região noroeste do Rio Grande do Sul. Agosto de 2010. Dissertação (Mestrado) - UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.
- BARRERA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural.** São Paulo: Editora Ícone, 2003
- BATALHA, Mário Otávio, et al. **Tecnologia de gestão e agricultura familiar,** 2005
- BLEY JR., Cícero. **Biogás: a energia invisível.** São Paulo: CIBiogás; Foz do Iguaçu : ITAIPU Binacional. 2ª ed. rev. e ampl., 2015.
- COMASTRI FILHO, José Anibal. **Biogás: Independência energética do Pantanal Mato-Grossense.** EMBRAPA - Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Corumbá. Circular técnica N.º 9. Corumbá/MS, outubro de 1981.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas:** uma visão Cemig. Belo Horizonte: Cemig, 2012.
- COSTA, Laura Vanessa Cabral. **Produção de biogás utilizando cam ade frango diluída em água e em biofertilizante de dejetos de suínos.** Maio de 2012. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Unesp, Botucatu/SP
- DARTORA, Valmir, et al. **Manejo de dejetos de suínos.** Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão - BIPERS, março de 1998.
- DEGANUTTI, Roberto, et al. **Biodigestores rurais:** modelo indiano, chinês e batelada. Bauru: Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, 2002.
- ESPERANCINI, Maura S. T, et al. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de são paulo.** Jaboticabal: Eng. Agríc., v.27, n.1, p.110-118, 2007.
- FERREIRA, J. (2013). **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de ciências.** Curitiba: Monografia apresentada a Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.
- FARRET, Felix A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica.** 2ª edição. Santa Maria - RS. Editora UFSM, 2010.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor**: Um estudo de caso na região de Toledo-PR. 2003. Dissertação (Mestrado) - UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS, 2009.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: 4º edição. Atlas S.A. 2002.

GUANZIROLI, Carlos. E. **Agroindústria Rural no Brasil**: experiências bem em mal sucedidas. Niterói/RJ: Textos para discussão - Faculdade de Economia - Universidade Federal Fluminense, abril de 2010.

GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DE BIOGÁS NA AGROINDÚSTRIA. Belo Horizonte: **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria** / Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ), 2015.

INOUE, Keles Regina Antony. **Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na digestão da manipueira**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PPM 2014**: rebanho bovino alcança 212,3 milhões de cabeças. Acesso em 17 de janeiro de 2016, disponível em <http://censo2010.ibge.gov.br/noticiascenso.html?view=noticia&id=1&idnoticia=3006&busca=1&t=ppm-2014-rebanho-bovino-alcanca-212-3-milhoes-cabecas>. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@. Cacoal**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=110004&search=rondonia|cacoal>>. Acesso em 10 maio 2016.

JORGE, Leila Cristina. **Estudo de viabilidade de implantação de biodigestores anaeróbicos no município de Paty do Alferes – RJ, uma contribuição para minimizar a degradação ambiental na área rural**. 2004. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, 2004.

JUNQUEIRA, Sérgio Luís Coelho Diniz. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino**: estudo de caso na fazenda aterrado. 2014. Monografia - Universidade federal do Rio de Janeiro- UFRJ - Departamento de Engenharia Mecânica. Rio de Janeiro/ RJ.

MOREIRA, Tainá Silvestre et al. **Utilização de biodigestores como alternativa para o tratamento de dejetos oriundos da produção animal**. USP - Universidade de São Paulo. s.d. Pirassununga.

KARLSSON, Tommy, et al. (2014). **Manual básico de biogás**. Lajeado: UNIVATES.

MATTOS, Luiz Cláudio e FARIAS JÚNIOR, Mário. **Manual do Biodigestor Sertanejo**. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2011.

MOREIRA, Tainá Silvestre, et al. (s.d.). **Utilização de biodigestores como alternativa para o tratamento de dejetos oriundos da produção animal**. Pirassununga: USP - Universidade de São Paulo.

NOGUEIRA, Luis Augusto Horta. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVEIRA, Rafael Deléo. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. Monografia - EESC/USP - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

OLIVER, André de Paula Moniz. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Salvador/Bahia: Instituto Winrock, fevereiro de 2008.

PACHECO, José Wagner. **Guia técnico ambiental de frigoríficos**: Industrialização de carnes (bovina e suína) - Série P+ L. CETESB; São Paulo, 2006.

PANZARINI, Nathalie Hamine et al. **Uso de resíduo da suinocultura na produção de biogás**: revisão da literatura. (p. 10); V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, 2015.

PEDERIVA, Andre Cristiano et al. **Gestão Ambiental**: Análise de viabilidade e dimensionamento de um biodigestor para geração de energia elétrica e biofertilizante. (p. 14). 2º Semana Internacional das Engenharias da Fahor - SIEF. Horizontina/RS, 2012.

PELEGRINI, Gelson e GAZOLLA, Márcio. **A agroindustrialização da produção como estratégia de reprodução social da agricultura familiar**, 2006.

PRATI, Lisandro. **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS GERADO POR BIODIGESTORES**. Curitiba - PR: Monografia apresentada a Universidade Federal do Paraná, 2010.

REIS, A. D. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. 2012. Universidade Federal de Pernambuco - Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Caruaru.

ROHSTOFFE, Fachagentur Nachwachsende. **Guia Prático do Biogás**: Geração e Utilização. 5ª edição, Gülzow, Alemanha, 2013.

ROYA, Bruno et al. **Biogás**: uma energia limpa. Revista Eletrônica Novo Enfoque, v. 13, n. 13, p. 142 - 149, 2011.

SARCINELLI, Miryelle Freire et al. **Abate de bovinos**. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Programa Institucional de extensão - Boletim Técnico, Espírito Santo, 2007.

SECCHI, Rafael Arnaldo Sulzbach. **Geração de energia elétrica a partir do biogás**. 2014. Monografia - FAHOR - Faculdade Horizontina, Horizontina.

SGANZERLA, Edílio. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.

SILVA, T. L., Neto, J. B., Soares, P. F., Neto, G. D., & Almeida, V. d. (Outubro de 2011). **Avaliação do aproveitamento da biomassa residual gerada na criação de animais**. Maringá/PR: VII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar. Centro Universitário de Maringá.

SOUZA FILHO, Hildo Meirelles et al. **Agricultura Familiar e Tecnologia no Brasil: características, desafios e obstáculos**, 2007.

Uberaba, P. M. (s.d.). **Serviço de Inspeção Municipal - SIM** . Acesso em 26 de abril de 2016, disponível em <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,120>

WALKER, Eliana. **Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais**. JUÍ-RS: Dissertação apresentada a Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, novembro 2009.

WOILER, S. e MATHIAS, W. F. **Projetos**. Planejamento, Elaboração, Análise. São Paulo: Atlas S.A., 2013.

ZILOTTI, Hécio Alexandre Rodrigues. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de cascavel para a geração de energia elétrica**. 2012. Dissertação - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Cascavel/PR

APÊNDICE

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AS AGROINDÚSTRIAS

Questionário aplicado às agroindústrias do município de Cacoal/RO com o objetivo de verificar a existência de biodigestores, e se não, os motivos pelo qual tais empresas não optam pelo uso dessa tecnologia.

1. Em que faixa etária se enquadra?

- ☐ até 25 anos
- ☐ 25 a 35 anos
- ☐ 35 a 45 anos
- ☐ 45 a 55 anos
- ☐ acima de 55 anos

2. Qual seu nível de escolaridade?

- ☐ Analfabeto
- ☐ Alfabetizado
- ☐ Ensino básico
- ☐ Ensino fundamental
- ☐ Ensino médio
- ☐ Ensino superior

3. Referente à posse da propriedade onde está localizada a unidade de processamento, esta é?

- ☐ Própria
- ☐ Cedida
- ☐ Arrendada/alugada
- ☐ Outro

4. Como se dá o sistema de organização da agroindústria?

- ☐ Familiar
- ☐ Associação
- ☐ Empresa
- ☐ Cooperativa

☐ Outro

5. Tipo de agroindústria que desenvolvem (produtos):

Sua resposta

6. Quanto à origem da matéria-prima:

- ☐ Toda produzida pela propriedade
- ☐ É adquirida de fora da propriedade até 10%
- ☐ É adquirida de fora da propriedade entre 10 a 25%
- ☐ É adquirida de fora da propriedade entre 25 a 50%
- ☐ É adquirida de fora da propriedade acima de 50%

7. Quanto à procedência dos insumos (elementos essenciais para a produção de um determinado produto ou serviço) utilizados na agroindústria:

- ☐ São comprados em partes de fora e em partes utilizados os insumos próprios.
- ☐ São comprados todos de fora da unidade de produção
- ☐ São produzidos todos na unidade de produção
- ☐ Os insumos são conseguidos com vizinhos e famílias próximas da agroindústria
- ☐ São conseguidos com a associação ou cooperativa que a agroindústria participa

8. O estabelecimento está registrado em qual órgão de fiscalização sanitária:

- ☐ Serviço de Inspeção Federal - SIF
- ☐ Serviço de Inspeção Estadual - SIE
- ☐ Serviço de Inspeção Municipal - SIM
- ☐ Alvará sem especificação
- ☐ Não possui licença
- ☐ Outro

9. Quanto ao destino do resíduo no estabelecimento:

- ☐ Céu aberto
- ☐ Compostagem
- ☐ Fossa séptica

- ☐ Rios
- ☐ Lagoas de estabilização
- ☐ Rede pública de esgoto
- ☐ Outro

10. Já ouviu falar sobre biodigestor?

- ☐ Sim
- ☐ Não

11. Se sim, por que não faz uso dessa tecnologia?

- ☐ Desconhece como se dá seu funcionamento
- ☐ Falta de informação sobre seu investimento
- ☐ Baixo incentivo/apoio governamental
- ☐ Falta de assistência técnica
- ☐ Inviável sua implantação
- ☐ Outro

APÊNDICE B – ENTREVISTA APLICADA A AGROINDÚSTRIA EM ESTUDO

Entrevista aplicada a agroindústria a fim de reduzir os custos operacionais da microempresa com base na estimativa de biogás produzido a partir de dejetos bovinos e suínos em substituição ao gás liquefeito de petróleo – GLP.

1. Qual o quantitativo de animais presentes nesta propriedade?

Bovinos:

Suínos:

Aves:

Outros:

2. Com relação aos dejetos animais, tem ideia do quantitativo eliminado diariamente?

3. Faz uso dos dejetos fecais dos mesmos?

4. Sabe da possibilidade de geração de energia (calor, elétrica) utilizando desses dejetos?

5. Se sim, por que não os utiliza?

6. Conhece ou já ouviu falar sobre o biodigestor?

7. Se sim, tem interesse em implantá-lo em sua propriedade? Por que?

8. Conhece os benefícios que podem ser gerados pela utilização do mesmo?

9. Quais produtos são fabricados na propriedade?

10. Qual o custo unitário com a aquisição do gás liquefeito de petróleo (GLP ou gás de cozinha)?

11. Qual o quantitativo de gás de cozinha gasto mensalmente?

12. Faz uso de outras fontes de calor como, carvão ou lenha?

13. Se sim, com que frequência, quantitativo e/ou custo.

14. Qual seu custo mensal com energia elétrica?

15. Faz uso de outras fontes de energia elétrica, como o uso de motores a explosão?

16. Se sim, com que frequência, quantitativo e/ou custo.

ANEXO

ANEXO A – Orçamento dos materiais para a construção do biodigestor

Material	Quant.	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Fornecedor
Ferro 6,3 mm	3	kg	R\$ 10,78	R\$ 10,78	Cocical
Arame 12 galvanizado	5	kg	R\$ 13,75	R\$ 68,75	Pentágono
Brita 01	6	Lata	R\$ 2,00	R\$ 12,00	Areal Sulamérica
Caixa de fibra 3.000 litros	1	Uni.	R\$ 1.171,64	R\$ 1.171,64	Cocical
Zinco 0,40 m	8	kg	R\$ 8,22	R\$ 65,76	Cacoaço
Tela de nylon 1,5 x 0,80	1	Metro	R\$ 5,32	R\$ 5,32	Pentágono
Tijolo 08 furos	70	Uni.	R\$ 0,62	R\$ 43,36	Cocical
Cano PVC esgoto 100 mm	2	Metro	R\$ 17,03	R\$ 34,05	Cocical
Cano PVC esgoto 150 mm	3	Metro	R\$ 27,69	R\$ 83,08	Cocical
Cano PVC rígido 50 mm	3	Metro	R\$ 12,33	R\$ 36,98	Cocical
Cano de ferro 40 mm	3	Metro	R\$ 11,00	R\$ 33,00	Vanzim
Parafuso francês 6” (15cm) 3/8”	1	Uni.	R\$ 1,54	R\$ 1,54	Pentágono
Parafuso francês 4” (10cm) 5/16”	2	Uni.	R\$ 0,82	R\$ 1,64	Pentágono
Barrote de madeira 7 x 7	7	Metro	R\$ 10,00	R\$ 70,00	CR Madeiras
Cano PVC rígido 60 mm	1,5	Metro	R\$ 42,29	R\$ 63,44	Cocical
Flange 60 x 60 mm	1	Uni.	R\$ 37,75	R\$ 37,75	Cocical
Tábua 0,15 x 0,04 m	2	Metro	R\$ 7,50	R\$ 15,00	CR Madeiras
Parafuso francês 3” (7cm) 3/8”	4	Uni.	R\$ 0,96	R\$ 3,84	Pentágono
Cano PVC esgoto 75 mm	1	Metro	R\$ 32,15	R\$ 32,15	Cocical
Cap PVC esgoto 75 mm	2	Uni.	R\$ 5,21	R\$ 10,41	Cocical
T PVC rígido 20 mm	1	Uni.	R\$ 0,88	R\$ 0,88	Cocical
Cano PVC rígido 20 mm	25	Metro	R\$ 2,69	R\$ 67,26	Cocical
Joelho PVC rígido 20 mm	7	Uni.	R\$ 0,50	R\$ 3,49	Cocical
Adaptador com Flange 20 mm	2	Uni.	R\$ 8,42	R\$ 16,84	Cocical
Adaptador longo c/ Flange Livre	1	Uni.	R\$ 37,75	R\$ 37,75	Cocical
Mangueira plástica 25 mm	5	Metro	R\$ 6,58	R\$ 32,90	Pentágono
Registro de esfera 20 mm	2	Uni.	R\$ 12,59	R\$ 25,18	Pentágono
Abraçadeiras rosca sem fim 1/2”	3	Uni.	R\$ 0,81	R\$ 2,43	Pentágono
Garrafão acrílico de água mineral	1	Uni.	R\$ 12,00	R\$ 12,00	Mercado Comper
União 20 mm	1	Uni.	R\$ 6,59	R\$ 6,59	Pentágono
Cola PVC pequena	1	Uni.	R\$ 2,66	R\$ 2,66	Cocical
Cimento	9	Saco	R\$ 29,00	R\$ 269,10	Cocical
Areia	1	m³	R\$ 75,00	R\$ 75,00	Pentágono
Mão-de-obra	3	dia	R\$ 120,00	R\$ 360,00	
Custo total de implantação do biodigestor				R\$ 2.712,57	
Custo total com adição de 10% de contingência				R\$ 3.000,00	